

## УЛСЫН ФИЗИКИЙН ХХХV ОЛИМПИАД /9-Р АНГИ/

### Бодлого-1 . (Цахилгаан хэлхээний бүрэн шинжилгээ)

#### Хэсэг1. (3.5 оноо)

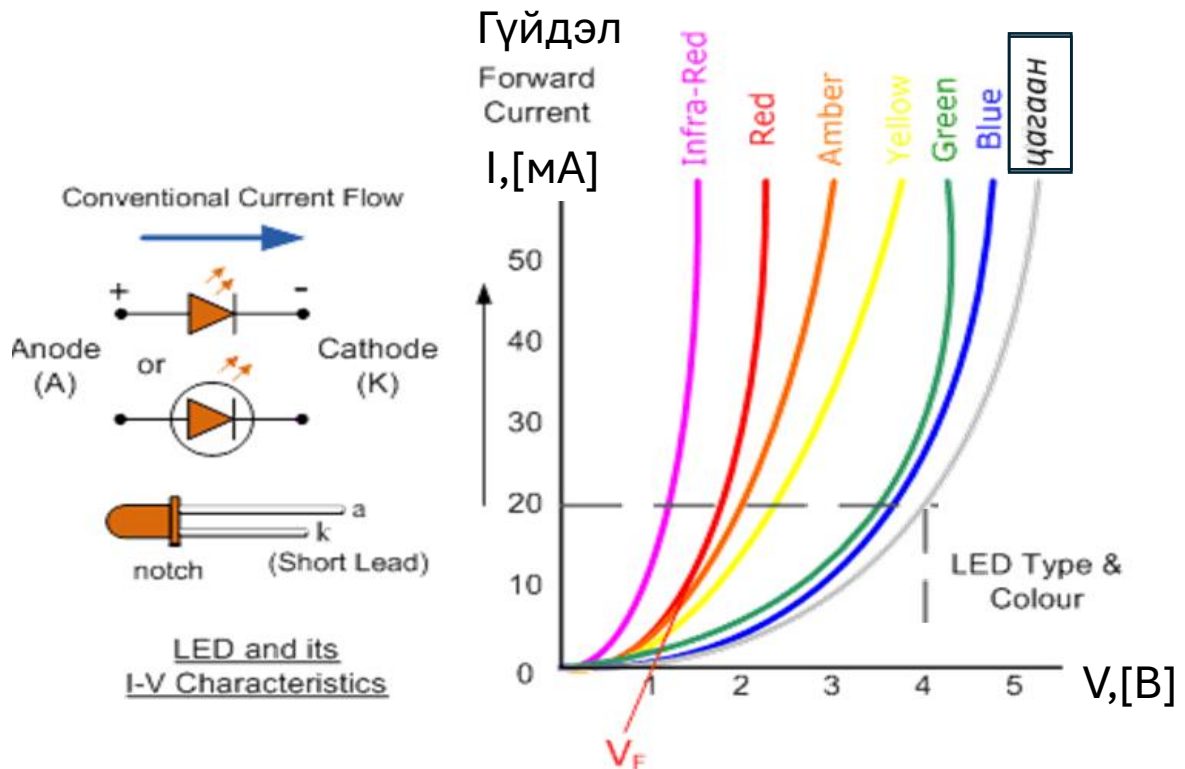
Энэ хэсэгт  $R$  гадаад эсэргүүцэл болон  $r$  дотоод эсэргүүцэлтэй,  $\mathcal{E}$  цахилгаан хөдөлгөгч хүч бүхий батерейнээс тогтох хэлхээ судлая.

- A. Уг хэлхээний гадаад эсэргүүцэл дээр ялгарах чадлыг хэлхээгээр гүйх гүйдлээр илэрхийл. (1 оноо)
- B. Дээрх илэрхийллийн график байгуул. (0.5 оноо)
- C. Гүйдлийн ямар утгад гадаад хэлхээнд ялгарах чадал хамгийн их байх вэ? (0.5 оноо)
- D. Гадаад хэлхээнд ялгарах чадал хамгийн их байхын тулд гадаад ба дотоод эсэргүүцлийн харьцаа ямар байхыг тогтоо. (0.5 оноо)
- E. Гадаад эсэргүүцэл өөр өөр ( $R_1$  ба  $R_2$ ) байхад тэдгээр дээр ижил чадал ялгарч болно. Эдгээр эсэргүүцлийн холбоог тогтоож чадлын хэмжээг ол. (1 оноо)

**Хэсэг 2.** (6.5 оноо) Гүйдэл ба хүчдэлийн хамаарлыг нь  $I = aV^2$  гэж загварчилж болох диод, тухайлбал өгөгдсөн зургаас цагаан гэрэлд харгалзах фото диодыг энэ хэсэгт судална. Уг диод болон  $r$  дотоод эсэргүүцэл,  $\mathcal{E}=6$  В цахилгаан хөдөлгөгч хүч бүхий батерейнээс тогтох хэлхээ өгөгдөв.

**Зураг:** Энэхүү зургаас цагаан гэрлийн диодод харгалзах график ашиглаарай.

**Эх сурвалж:** <https://electronicsengineering.softecks.in/912/>



A. Зурагт өгөгдсөн график ашиглан цагаан гэрлийн фото диодод харгалзах  $a$  коэффициентын нэгж ба тоон утгыг ол. (0.5 оноо)

Энэ  $a$  коэффициентын утгыг үлдсэн бүх даалгавруудад ашиглана:

B. Батерейн дотоод эсэргүүцэл  $r = 0$  байх үед диодоор гүйх гүйдэл болон түүнд ялгарах чадлыг тооцоол. (1 оноо)

C. Батерейн дотоод эсэргүүцэл  $r = 5 \text{ Ом}$  үед уг диодоор ямар хэмжээний гүйдэл гүйж байх боломжтой вэ? (1 оноо)

Дараах гурван даалгаварт батерейн  $r$  дотоод эсэргүүцлийг хувьсагч болгон авна.

D. Батерейн дотоод эсэргүүцэл  $r$  болон хэлхээгээр гүйх  $I$  гүйдлийг холбосон тэгшитгэл бич. (1.5 оноо)

E. Гүйдлийн ямар утгад диод дээр ялгарах чадал хамгийн их байх вэ? (1 оноо)

F. Хэрэв хэлхээний батерейгээр аюулгүй гүйлгэж болох гүйдлийн хамгийн их утга  $I = 10 \text{ А}$  бол батерейг гэмтээхгүйгээр уг диод дээр хамгийн ихдээ ямар чадал гаргаж авч болох вэ? Харгалзах дотоод эсэргүүцлийг тооцоол. (1.5 оноо)

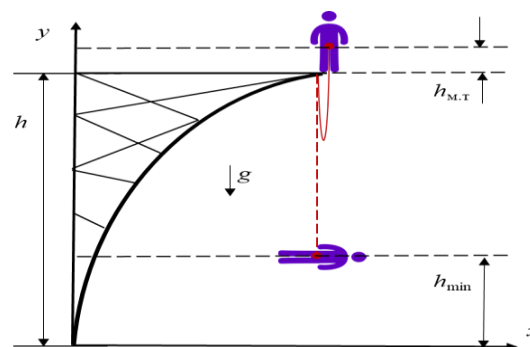
## Бодлого:2 Механик

Оосортой үсрэлт нь адал явдал хайгч жуулчдын сонирхлыг ихээр татдаг билээ. Энэ нь өндөр барилга, гүүр, цамхаг гэх мэт байгууламжид урт, уян харимхай оосроор холбож үсрэлт хийдэг (Зураг.1). Үсрэгч нь эхлээд босоо байрлалд зогсож, анхны хурдгүйгээр доош унадаг. Үсрэгч хамгийн доод цэгт зураг.2-т үзүүлсэн шиг хэвтээ байрлалд байна. Үсрэх цамхагийн тавцангийн өндөр зурагт үзүүлсний дагуу усны гадаргаас дээш  $h = 55.0$  м. Уян оосорны анхны урт нь  $l = 28.0$  м, хат нь  $k = 180 \text{ Н/м}$ . Үсрэгчийн массын төв тавцангаас

$h_{\text{м.т}} = 1.00$  м өндөрт байсан. Хүндийн хүчний хурдатгал  $g = 9.81 \text{ м/с}^2$ . Агаарын эсэргүүцлийг болон уян оосорны массыг тооцохгүй.



Зураг.1



Зураг.2

- 1) Үсрэгч ямар хугацааны турш чөлөөтэй унах вэ? Чөлөөт уналтын үед үсрэгчийн массын төвийн байрлалыг хугацаанаас  $1.0$  оноо хамаарсан тэгшитгэл бичээрэй.

- 2)  $m = 80$  кг масстай үсрэгчийн олж авах хамгийн их  $v_{\max}$  хурд ямар болох вэ? 3.0 оноо
- 3) Үсрэгч усны гадаргад ойртох хамгийн бага  $h_{\min}$  зайг үнэлээрэй. 2.0 оноо
- 4) Хөдөлгөөний явцад усны гадаргад хүрэхгүй байхын тулд үсрэгчийн хамгийн их  $m_{\max}$  массыг олоорой. 2.0 оноо
- 5) Тавцан дээрээс ах, дүү 2 хамтдаа үсэрхээр болжээ. Энэ тохиолдолд уян оосрыг 2 давхарладаг. Ижил  $I$  (деформацад ороогүй) урттай оосрыг, эхний оосортой зэрэгцээ холбожээ. Ах нь  $m_1 = 90.0$  кг масстай, дүү нь  $m_2 = 60.0$  кг масстай. Ах, дүү хоёр аюулгүй үсрэх, усны гадаргад хүрэхгүй байхын тулд хоёр дахь уян оосорны хат хамгийн багадаа ямар байх вэ? 2.0 оноо

Бодлого. (Цахилгаан хэлхээний бүрэн шинжилгээ)

Хэсэг 1. (3.5 оноо)  $R$  гадаад эсэргүүцэл болон  $r$  дотоод эсэргүүцэл ба  $\mathcal{E}$  цахилгаан хөдөлгөгч хүч бүхий батерейнээс тогтох хэлхээ өгөгдөв.

- F. Уг хэлхээний гадаад эсэргүүцэл дээр ялгарах чадлыг хэлхээгээр гүйх гүйдлээр илэрхийл **өөрөөр хэлбэл**  $P(r, \mathcal{E}, I)$ . (1 оноо)
- G. Дээрх илэрхийллийн график байгуул  $P(I)$ . (0.5 оноо)
- H. Гүйдлийн ямар утганд гадаад хэлхээнд ялгарах чадал хамгийн их байх вэ? (0.5 оноо)
- I. Гадаад хэлхээнд ялгарах чадал хамгийн их байхын тулд гадаад ба дотоод эсэргүүцлийн харьцаа ямар байхыг тогтоо. (0.5 оноо)
- J. Гадаад эсэргүүцэл өөр өөр ( $R_1$  ба  $R_2$ ) байхад тэдгээр дээр ижил чадал ялгарч болно. Эдгээр эсэргүүцлийн холбоог тогтоож чадлын хэмжээг ол. (1 оноо)

Хэсэг 2. (6.5 оноо) Гүйдэл ба хүчдэлийн хамаарлыг нь  $I = aV^2$  гэж загварчилж болох диод, тухайлбал өгөгдсөн зургаас цагаан гэрэлд харгалзах фото диодыг энэ хэсэгт судална. Уг диод болон  $r$  дотоод эсэргүүцэл,  $\mathcal{E} = 6$  В цахилгаан хөдөлгөгч хүч бүхий батерейнээс тогтох хэлхээ өгөгдөв.

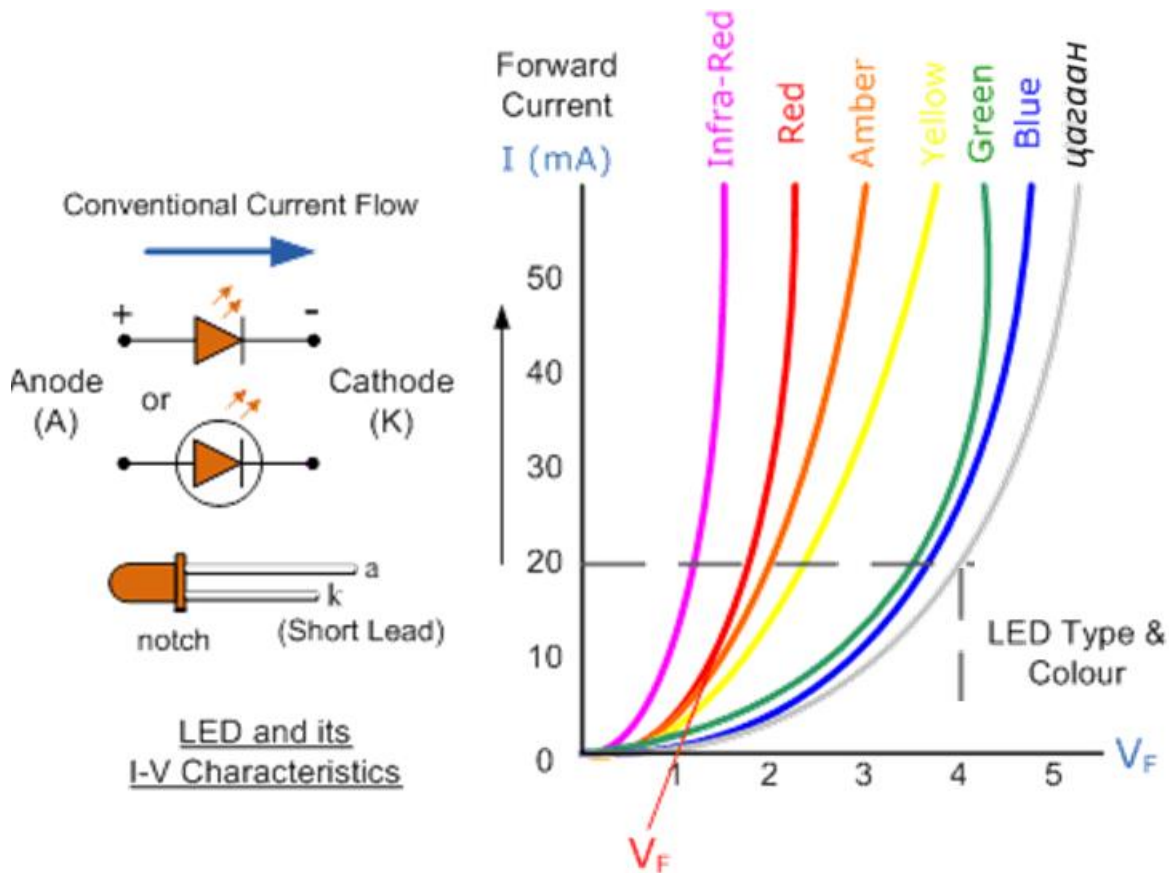
- G. Зурагт өгөгдсөн график ашиглан цагаан гэрлийн фото диодод харгалзах  $a$  коэффициентийн нэгж ба тоон утгыг ол. (0.5 оноо)

Энэ  $a$  коэффициентийн утгыг үлдсэн бүх даалгавруудад ашиглана:

- H. Батерейн дотоод эсэргүүцэл  $r = 0$  байх үед диодоор гүйх гүйдэл болон түүнд ялгарах чадлыг тооцоол. (1 оноо)
- I. Батерейн дотоод эсэргүүцэл  $r = 5$  Ом үед уг диодоор ямар хэмжээний гүйдэл гүйж байх боломжтой вэ? (1 оноо)

Дараах гурван даалгаварт батерейн  $r$  дотоод эсэргүүцлийг хувьсагч болгон авна.

- J. Батерейн дотоод эсэргүүцэл  $r$  болон хэлхээгээр гүйх  $I$  гүйдлийг холбосон тэгшитгэл бич. (1.5 оноо)
- K. Гүйдлийн ямар утганд диод дээр ялгарах чадал хамгийн их байх вэ? (1 оноо)
- L. Хэрэв хэлхээний батерейгээр аюулгүй гүйлгэж болох гүйдлийн хамгийн их утга  $I = 10$  А бол батерейг гэмтээхгүйгээр уг диод дээр хамгийн ихдээ ямар чадал гаргаж авч болох вэ? Харгалзах дотоод эсэргүүцлийг тооцоол. (1.5 оноо)



<https://electronicsengineering.softecks.in/912/>

## 9-Р АНГИЙН ТУРШИЛТЫН БОДЛОГО

Нарны зайн үйл ажиллагааг судлах (нийт 7.0 оноо)

### 1. Туршилтын ажлын зорилго

Туршилтын ажлын гол зорилго нь нарны зайн үйл ажиллагааг судлах бөгөөд хамгийн их гаралтын чадал, ашигт үйлийн коэффициентыг нь тодорхойлоход анхаарлаа хандуулах юм. Энэхүү туршилт нь оролцогчдод нарны эрчим хүчийг хувиргах зарчмууд болон түүний практик хэрэглээ, ялангуяа сансрын хайгуулын талаарх ойлголтыг өгөх болно.

## 2. Нарны энерги ба нарны зайн хиймэл дагуул дахь хэрэглээ

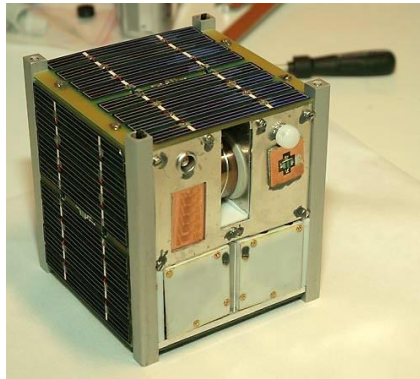
Нар  $3.9 \times 26^{10}$  Вт эрчим хүч үйлдвэрлэдэг ба энэ энергиэс дэлхийн агаар мандлаас гаднах нам орбитод  $1 \text{ м}^2$  талбай тутамд 1386 Вт чадал ирдэг. Харин нарны цацраг дэлхийн агаар мандлыг нэвтлэн орж ирэхдээ тодорхой хэсэг нь сарнин цэлмэг өдөр 1000 Вт чадал  $1 \text{ м}^2$  талбай тутамд ирдэг байна. Энэ энергийг ашиглан агаарын бохирдол, аюултай хог хаягдал үүсгэхгүйгээр цахилгаан эрчим хүч үйлдвэрлэх боломжтой. Нарны зай нь нарны цацрагийг шууд цахилгаан гүйдэл болгон хувиргах замаар цахилгаан эрчим хүч үйлдвэрлэдэг. Нарны эрчим хүчний эх үүсгэвэр дэлхийн нийт эрчим хүчний ердөө 3.9% чадлыг бүрдүүлж байна. Гэсэн хэдий ч энэ нь дэлхийн хамгийн хурдацтай хөгжиж буй эрчим хүч үйлдвэрлэх технологийн нэг юм.



Зураг 1: Монокристалл нарны зай  
KXOB25-05X3TF

Өргөн уудам сансар огторгуйд нарны зай нь эрчим хүчний гол эх үүсгэвэр болж сансрын хөлөг, хиймэл дагуул, сансрын телескопуудыг цахилгаанаар тэжээдэг. Эдгээр эгэл жирийн боловч гайхалтай төхөөрөмж нарны гэрлийг цахилгаан энерги болгон хувиргаж сансар огторгуйд найдвартай, тогтвортой эрчим хүчний эх үүсвэр болдог. Хүн төрөлхтөн лабораторийн нөхцөлд хамгийн ихдээ 46.7%-ийн өндөр ашигт үйлийн коэффициент (АҮК) бүхий олон давхаргат нарны зайг үйлдвэрлэж чадсан. Гэвч энэ хэт өндөр үнэтэй тул сансрын хиймэл дагуулуудад ойролцоогоор 20-35%, энгийн айл өрх үйлдвэрийн газрууд 10-25%-ийн АҮК бүхий нарны зайн системүүдийг хэрэглэж байна.

Монголд их дээд сургуульд сурдаг оюутнууд “Тэмүүлэл” нэртэй хиймэл дагуулыг лабораторийн орчинд хөгжүүлэн сансарт 2025 онд хөөргөхөөр зорьж буй. Энэ хиймэл дагуулын тэжээлийн системийг тогтвортой хангахын тулд монокристалл нарны зайг туршиж үзсэн. Энэ төрлийн нарны зай 25% АҮК-тэй хэмжигддэг ба гэрлийн эрчим бага нөхцөлд ч ажиллах боломжтой, батарейны ашиглалтын болон ажиллах хугацааг бага хэмжээгээр нэмэгдүүлэх боломжийг олгодог. Хиймэл дагуулыг тогтвортой ажиллуулахын тулд дор хаяж 20%-иас дээш үзүүлэлттэй байх шаардлагатай. Та бүхэнд өгөгдсөн нарны



*Зураг 2: 10 см куб хиймэл дагуулын инженерийн загвар. 5-н талдаа нарны зайгаар бүрхсэн.*

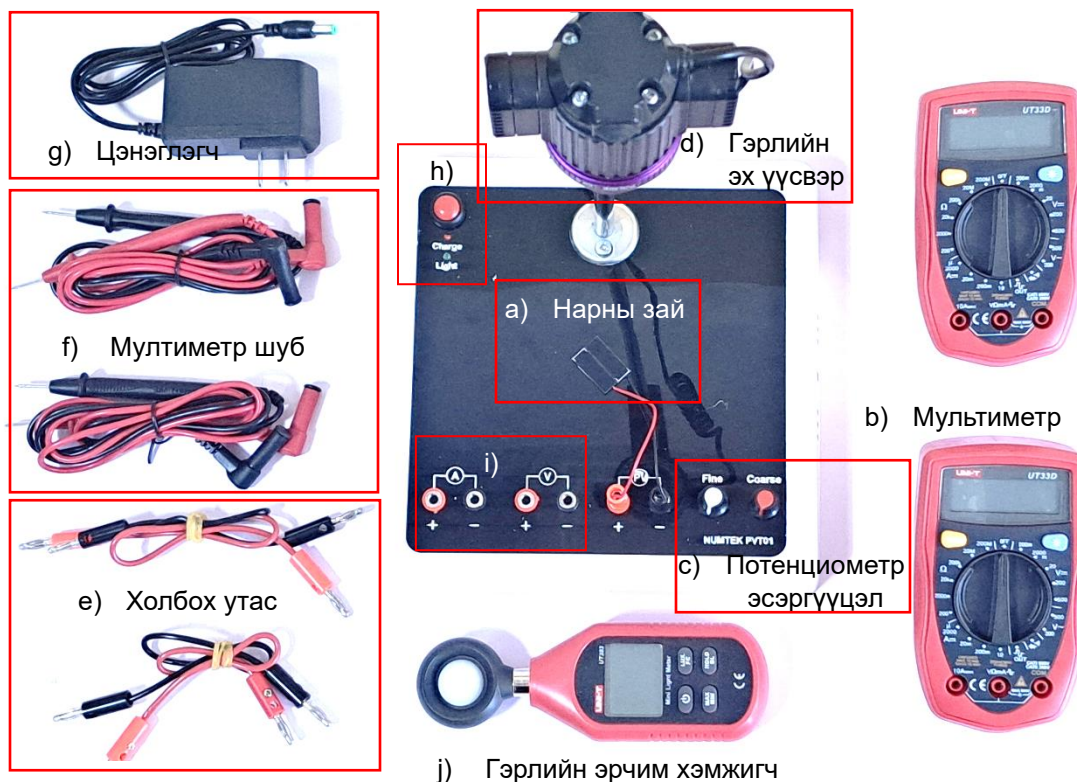
зайг сансарт ашиглаж болох эсэхийг тодорхойлоход энэ ажлын гол зорилго оршино.

### **3. Туршилтын төхөөрөмж:**

- a) **Нарны зай:** Нарны гэрлийг үр ашигтайгаар цахилгаан болгон хувиргадаг фотоволтайк (PV) нарны зайг сонгосон. Нарны зайг цэвэрхэн, тоос тортог наалдсан эсэхийг шалгаарай.
- b) **Мультиметр:** Гүйдэл (Ампер, A) ба хүчдэл (Вольт, V) хэмжихэд хоёр мультиметр шаардлагатай. Эдгээр хэрэгслүүд нь бага хэмжээний утгыг нарийн бүртгэх чадвартай байх ёстой.
- c) **Цахилгаан ачаалал эсвэл потенциометр эсэргүүцэл:** Энэ бүрэлдэхүүн хэсэг нь хэлхээний ачааллын эсэргүүцлийг тохируулах боломжийг олгодог бөгөөд энэ нь нарны зайны хамгийн их чадлын цэгийг тодорхойлох боломжийг олгоно.



- d) **Гэрлийн үүсгүүр:** Туршилтын явцад нарны хавтан дээр LED гэрлийн эх үүсвэрийг тусгана. Гэрлийн үүсгүүрийн эрчмийг янз бүрийн гэрэлтүүлгийн нөхцөлийг дуурайхын тулд хянах боломжтой байх ёстой.
- e) **Холбох утас:** Хэлхээний хэсгүүдийг найдвартай холбохын тулд чанартай утас ашиглана. Хэмжилтийн алдаанаас зайлсхийхийн тулд зөв туйлд холбосон эсэх болон холболтын бүрэн бүтэн байдлыг шалгаарай!
- f) **Мультиметр шуб:** Энэ туршилтад шууд хэрэглэх шаардлага байхгүй ч өөр төрлийн туршилтад, эсвэл дангаар цахилгааны хэмжилт хийхэд хэрэгтэй.
- g) **Цэнэглэгч:** Энэ туршилтын хавтангийн багц нь дотроо батарей багтаасан ба тэжээлд холбоогүй ч бүтэн цэнэгтэй бол ойролцоогоор 5-н цаг ажиллах



Зураг 3: NUMTEK PVT01 загварын нарны зайн туршилтын ажлын багц

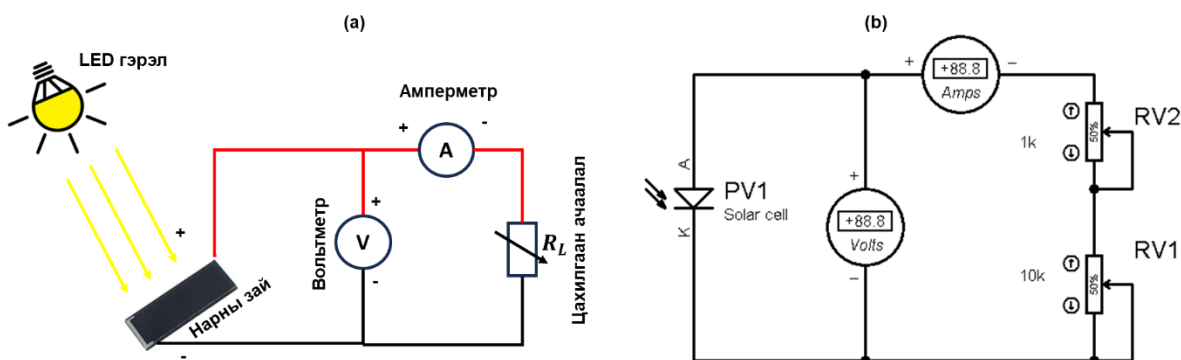
боломжтой. Цэнэглэгч нь шууд залган төхөөрөмжийг ажиллуулах, мөн хавтан доторх батарейг цэнэглэх үүрэгтэй.

- h) **Статус LED болон асааж унтраах товчлуур:** Хавтангийн зүүн дээд буланд төхөөрөмжийн гэрлийг асааж унтраах товчлуур байрлана. Хэрэв нэг дарсан тохиолдолд гэрэл асна, 2 дараалан дарвал гэрэл унтарна, 3 дараалан дарвал гэрэл анивчих горимоор ажиллана, 4 дараалан дарвал мөн гэрэл унтрах болно.

Цэнэглэж байгаа, гэрэл асаалттай байгааг илэрхийлэх статус LED гэрэл тус хэсэгт бий.

- i) **Гүйдэл хүчдэл хэмжих залгуур:** Хавтангийн зүүн доод буланд хүчдэл, гүйдэл хэмжих зориулалт бүхий залгуур коннекторыг гаргаж өгсөн.
- j) **Гэрлийн эрчим хэмжигч буюу люксметр:** Гэрлийн эрчмийн хэмжээг хэмжих төхөөрөмж юм. Тус төхөөрөмжөөр орчны гэрэлтүүлэг, эсвэл харанхуй орчинд судлаж буй гэрлийн эрчмээ хэмжих боломжтой.

#### 4. Туршилтын хэлхээ, диаграм



Зураг 4: (a) Туршилтын диаграм (b) хэлхээ

Туршилтын хавтанд дотор цахилгаан ачаалал буюу 10 к Ом болон 1.0 к Ом эсэргүүцлүүд Зураг 4-т үзүүлсний дагуу цуваа холбогдсон. Туршилтын схем дотор буй Амперметр болон Вольтметрийн оронд 2 мультиметрыг нэгийг нь гүйдэл хэмжих, нөгөөг нь хүчдэл хэмжих зориулалт дээр тохируулан хавтангийн залгуурт залган хэрэглэнэ.

#### Анхаарах зүйлс:

- Мультиметр болон нарны зайн туйлуудыг зөв холбох;
- Цахилгаан цочрол, богино холболтоос урьдчилан сэргийлэхийн тулд цахилгаан тоног төхөөрөмжтэй харьцахдаа болгоомжтой байх;
- Мультиметрийнхээ хэмжих хязгаарыг зөв тохируулах;
- Нарны зайн гадаргуу бохирдсон эсэхийг шалгах, бохирдож гэмтэхээс сэргийлэх.

#### 5. Туршилтын даалгавар

##### 5.1. Гэрлийн үүсвэрийн эрчим хэмжилт



A. Туршилтыг гүйцэтгэхэд орчны гэрэл тодорхой хэмжээгээр нөлөөтэй байдаг тул үндсэн туршилтыг эхлэхийн өмнө орчны гэрлийн эрчмийг хэмжих шаардлагатай. Ингэхдээ туршилтын төхөөрөмж дэх гэрлийг асаалгүйгээр зөвхөн орчны гэрлийг люксометрээр хэмжинэ. Гэрлийн эрчим хэмжигч төхөөрөмжийг нарны зайн дээр байршуулж хэмжигчийг асаан гэрэл асаагаагүй үе дэх гэрлийн фон (background) хэмжилт хийнэ. Гэрлийн эрчим хэмжигч багажийн нэг нь LUX бөгөөд багажийн MAX/MIN товчлуур дээр дарахад хамгийн их болон хамгийн бага хэмжигдсэн утгууд гарч ирдэг.

Max (LUX)	Min (LUX)	Дундаж (LUX) B
217	157	187

$$1 \quad \text{LUX} \quad = \quad 0.0079 \quad \text{Вт/м}^2$$

Дундаж фон гэрлийн эрчмийг B гэж тэмдэглэн тоон хэмжээг  $\text{Вт/м}^2$  нэгжээр илэрхийлэн олно уу. (0.3 оноо)

$$B = \boxed{1.48 \text{ Вт/м}^2}$$

B. Нарны зай мэдээж нарны гэрлээр ажиллах нь тодорхой, гэвч бидний туршилтад гэрлийн үүсгүүр болгон нарыг биш LED гэрэл ашиглаж байгаа билээ. Тиймээс бид ашиглаж буй гэрлийнхээ эрчмийг нарных мэт болгох шаардлага үүсэж байна. Үүний тулд LED-ний хэмжигдэж буй эрчмийг тогтмол тоогоор үржүүлж өгдөг. Нарын гэрлийн болон LED гэрлийн спектр өөр байдаг. LED гэрэл хүний нүдэнд болон бидний хэрэглэж буй хэмжилтийн багажинд илүү тод мэт мэдрэгдэж буй. Иймд бодлогыг зохиогчид нарны гэрэл болон LED гэрлийн хоорондын зөрүүг лабораторийн нөхцөлд туршин тогтоосон ба пропорционалийн коэффициентийг  $k = 0.34$  гэж тодорхойлсон. LED гэрлийг асаан нарны зай дээр ямар хэмжээний гэрлийн эрчим ирж буйг хүснэгтэнд тэмдэглээд  $I_0$  эквивалент нарны эрчмийг тодорхойлно уу.

Max (LUX)	Min (LUX)	Дундаж (LUX) $I_{ХЭМЖИЛТ}$
39720	39650	39685

$$I_0 = k \cdot I_{ХЭМЖИЛТ} - 1 \quad \boxed{105 \text{ Вт/м}^2}$$

(0.7 оноо)

## 5.2. Гүйдэл-хүчдэлийн хамаарлыг судлах

Гүйдэл-хүчдэлийн хамаарлын муруй нь цахилгаан хэлхээ, төхөөрөмж, материалаар дамжин өнгөрөх цахилгаан гүйдэл ба харгалзах хүчдэл хоорондын хамаарлыг илэрхийлдэг муруй юм. Энэхүү хамаарлын графикийг ашиглан физикчид, инженерүүд тухайн бүрэлдэхүүн хэсгийн цахилгаан шинж чанарын чухал параметруудийг тодорхойлоход ашигладаг.

Нарны зайн шинж чанарыг илэрхийлдэг нэг чухал параметр нь түүний *хамгийн их чадал* ( $P_{max}$ ) юм. Үүнийг тодорхойлохын нарны зайн гүйдэл-хүчдэлийн хамаарлыг ашиглана.

- Хэлхээний гүйдэл, хүчдэлийг хэмжихийн тулд мултиметруудийг тохирох залгуур холбогчид холбоно. Ингэхдээ (-) тэмдэгтэй үүрийг (COM)-д, (+) тэмдэгтэй үүрийг тохирох хэсэгт ( ) холбоно.
- Мултиметрийн тохируулгыг тохирох хязгаарт тааруулна.
- Гэрлийг асааж хэмжилтийг эхэлнэ.
- Хэлхээний ачааллын эсэргүүцлийг тохируулах потенциометрууд буюу Fine, Coarse шургийг ашиглан гүйдлийн утгыг хамгийн ихээс нь эхлэн тодорхой алхамтайгаар багасгаж түүнд харгалзах хүчдэлийн утгуудыг доор өгсөн хүснэгтэд тэмдэглэж авна.
- Тэмдэглэж авсан хүчдэл, гүйдлийнхээ утга тус бүрт харгалзах чадлыг тооцоолон хүснэгтэд тэмдэглэнэ үү.

Цахилгаан чадал,  $P$ :

$$P = I \cdot U$$

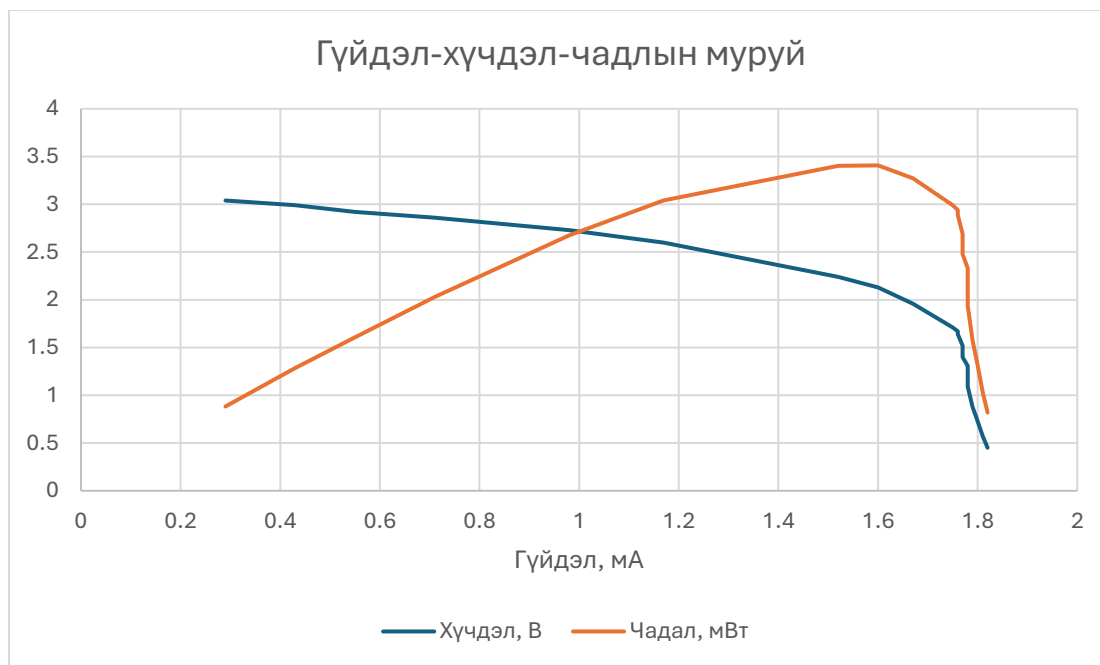
- Хамгийн их чадлын утгыг хүснэгтийн сүүлийн баганад тэмдэглэнэ үү. Энэ нь хэмжилтээс олдсон нарны зайн гаралтын хамгийн их чадал болно.

Г. Хэмжилтийн утгуудаа ашиглан өгөгдсөн хуваарьтай цаасан дээр нарны зайн гүйдэл-хүчдэлийн характеристикийг байгуул. Мөн түүний чадал-хүчдэлийн графикийг нэг хавтгай дээр, өөр хуваарийн үнэтэйгээр байгуулна уу.

№	$V, В$	$I, мА$	$P, мВт$	$P_{max}, мВт$
1	0.29	3.04	0.88	3.41
2	0.43	2.99	1.29	
3	0.55	2.92	1.61	
4	0.71	2.86	2.03	
5	0.98	2.73	2.68	
6	1.17	2.6	3.04	
7	1.52	2.24	3.40	
8	1.6	2.13	3.41	
9	1.67	1.96	3.27	
10	1.75	1.71	2.99	
11	1.76	1.67	2.94	
12	1.76	1.64	2.89	
13	1.77	1.52	2.69	
14	1.77	1.4	2.48	
15	1.78	1.31	2.33	
16	1.78	1.21	2.15	
17	1.78	1.09	1.94	
18	1.79	0.88	1.58	
19	1.8	0.73	1.31	
20	1.81	0.57	1.03	
21	1.82	0.45	0.82	

(2.5 оноо)

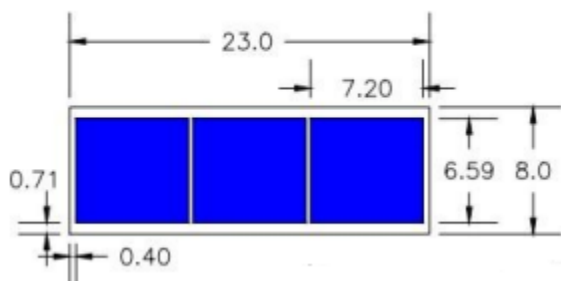
### Гүйдэл-хүчдэл-Чадлын муруй байгуулна уу. (0.5 оноо)



### 5.3. Ашигт үйлийн коэффициент тооцоолох

Гэрлийн үүсгүүрээс ирж буй гэрлийн эрчмийн чадлыг  $P_0$  гэж тэмдэглэн тоон утгыг Вт нэгжээр илэрхийлэн тодорхойлно уу. (0.75 оноо)

$$P_0 = I_0 \cdot A \quad 27.36 \text{ мВт}$$



Зураг 5: Нарны зайн хэмжээс зураг. Цэнхэр өнгөөр тэмдэглэсэн нь ашигтай талбайн хэсэг.

Нарны зай нь Зураг 5 дээр үзүүлсэн шиг хэлбэртэй харагдах бөгөөд цэнхрээр будагдсан хэсэг нь гэрлийн эрчмийг хүлээж авах ашигтай талбай болох ба гэрлээс ирэх чадлын хэмжээг энэ талбайг ашиглан тооцох юм.

Ашигт үйлийн коэффициентийг цахилгааны гаралтын хамгийн их чадал ( $P_{max}$ ) –ыг гэрлийн цацрагаар дамжин нарны зайнд ирэх чадал ( $P_0$ )-д харьцуулсан харьцаагаар тодорхойлж, хувиар илэрхийлнэ үү. (0.75 оноо)

$$12.5\%$$

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_0} \times 100\% =$$

**Дүгнэлт** (1.0 оноо)

Уг нарны зай нь хиймэл дагуулын тэжээлийн системд хэрэглэж болох эсэх талаар дүгнэлт хий. Мөн энэ арга зүйг ашиглан ирээдүйд хийж, хэмжиж болох зүйлсийг талаар бичнэ үү.

**Үүнийг сансрын орчинд хиймэд дагуул дээр ашиглах боломжгүй. Ашигт үйлийн коэффициент анх төлөвснөөс харьцангуй бага байна.**

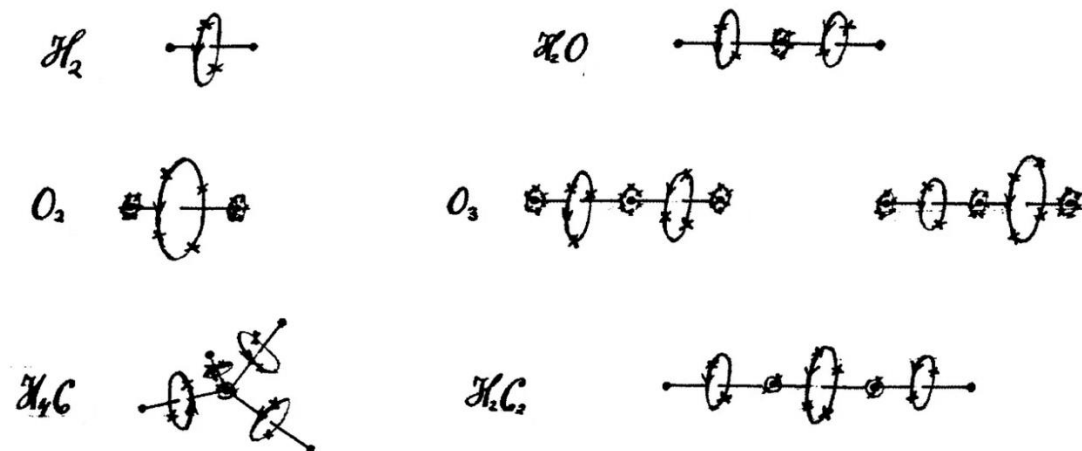
## УЛСЫН ФИЗИКИЙН ХХХV ОЛИМПИАД /12-Р АНГИ/

### Устөрөгчийн молекулын хэлбэлзэл

1913 онд Нильс Бор өөрийн алдартай устөрөгчийн атомын загвараа хэвлүүлж, устөрөгчийн атомын спектрийн Ридбергийн томъёог анх удаа үндэслэлтэй тайлбарлав. Борын загварын дагуу устөрөгчийн атом дахь электрон нь эерэг цэнэгтэй цөмийг тойрон зөвхөн  $L 2\pi = n h$  нөхцөлийг хангах зөвшөөрөгдсөн "тогтонги" тойрог орбитоор эргэлдэнэ гэж үздэг. Үүнийг Борын квантчлалын нөхцөл гэнэ. Энд  $L$  нь электроны импульсын момент (өнцгөн импульс-angular momentum),  $n = 1, 2, \dots$  эерэг бүхэл тоо бөгөөд  $h = 6.626 \times 10^{-34}$  Ж·с нь Планкийн тогтмол юм.

Энд цөмийн масс нь электрон массаас 2000 дахин их учраас хөдөлгөөнгүй цөмийн үүсгэх Кулоны хүчний үйлчлэлээр устөрөгчийн атомын электрон стационар тойрог замд оршдог. Квантчллын дээрх нөхцөлөөс аль ч тойрог орбит дахь электроны хурд радиус, энергийг тодорхойлдог гэсэн Борын атомын онолыг бид сайн мэднэ. Харин энэ бодлогод Борын молекулын онолыг судална.

## *Figuration of atoms in Molecules*



**Зураг 1:** 1913 онд Нильс Борын санал болгосон өөр өөр молекулуудын стационар электрон тойрог зам.

**Зураг 1** нь хэд хэдэн молекул дахь электрон тойрог замын боломжит хувилбарыг харуулсан Нильс Борын анхны ноорог зураг болно<sup>1</sup>. Санал болгож буй  $H_2$  молекулын Борын загварын хувьд цөм хоорондох зай ба молекулын холбоосын энерги нь туршилтын утгатай сайн тохирохгүй байсан боловч устөрөгчийн молекулд Нильс Борын санал болгосноос илүү олон төрлийн стационар тойрог замууд байгааг харуулсан сүүлийн үеийн хэд хэдэн нийтлэлийн дараа Борын молекулын загварыг сонирхох судалгаа эргээд сэргэсэн<sup>2</sup>. Борын загварт янз бүрийн тойрог замуудыг ашигласнаар молекулын шинж чанарыг ойролцоогоор тооцоолж болохыг харуулсан. Энэ бодлогод Борын анхны загвараар урьдчилан таамагласан устөрөгчийн молекулын зарим физик шинж чанарыг судлах болно.

### **$H_2$ молекулын Борын загвар**

**Зураг 2-т** Нильс Борын санал болгосон устөрөгчийн молекулын загварын нарийвчилсан тоймыг үзүүлэв. Хоёр протон ( $p^+$ )  $2R$  зайтай. Хоёр электрон ( $e^-$ ) нь хоёр протоныг холбосон шугамд перпендикуляр бөгөөд ижил тойрог замд ижил өнцгөн хурдтайгаар эргэлддэг. Дугуй тойрог замын радиусыг  $r$  гэж тэмдэглэвэл электрон-протоны хоорондох зай  $\sqrt{r^2 + R^2}$ , электрон-электрону хоорондох зай  $2r$  байна.

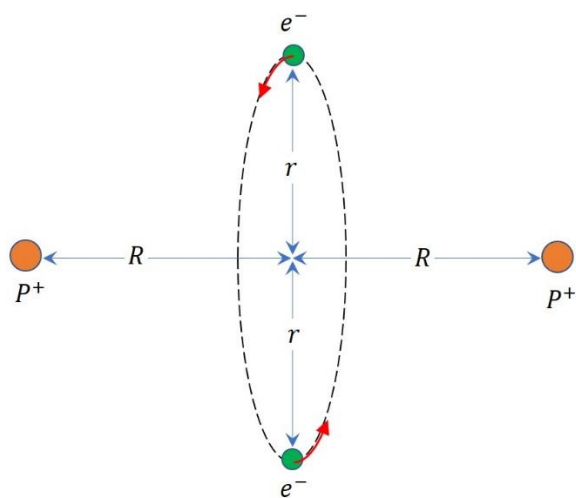
<sup>1</sup> N. Bohr, Phil. Mag. 26, 1, 476, 857 (1913).

<sup>2</sup> Adv. Atom. Mol. Opt. Phys., 51 (2005), pp. 93-239



Боломжтой физик тогтмолуудын жагсаалт

- Электроны цэнэг:  $e = 1.602 \times 10^{-19}$  кл
- Кулоны тогтмол:  $k = 1/4\pi\epsilon_0 = 8.988 \times 10^9$  Н·м<sup>2</sup>/кл<sup>2</sup>
- Электроны масс:  $m_e = 9.109 \times 10^{-31}$  кг
- Протоны масс:  $m_p = 1.673 \times 10^{-27}$  кг
- Гэрлийн хурд:  $c = 2.998 \times 10^8$  м/с



Зураг 2: Устөрөгчийн молекулын Борын загварын бүдүүвч дүрслэл. Холбогдох бүх зайг харуулав. Энэ загвар дараах санааг агуулж байгаа. Үүнд:

- Электронууд Ньютоны динамикийн хуулийн дагуу хөдөлдөг
- Квантчилах нөхцөл нь электрон тус бүрт биелнэ
- Электронуудын тойрог зам ижил

### 1-р хэсэг. Тэнцвэрт байгаа H<sub>2</sub> молекул

Энэ даалгаварт хоёр протон тэнцвэрийн байрлалдаа тайван байна гэж үзнэ.

- Тэнцвэрт байгаа молекулын хувьд  $R_0$  протоны тэнцвэрийн байрлал,  $r_0$  электроны тойрог орбитын радиусыг тооцоол. Энэ үед электронууд хамгийн бага импульсын моменттой (үндсэн) төлөвт байна. (2 оноо)
- Тэнцвэрт байгаа молекулын хувьд молекулын цахилгаан потенциал энерги  $E_p$ , электронуудын нийт кинетик энерги  $E_k$  гээ.  $E_k/E_p$  харьцааг тооцоол. (1 оноо)

Молекулын холбоосын энерги  $E_b$  нь молекулыг бие биенээсээ хязгааргүй зайд тусгаарлагдсан цахилгаан саармаг атомуудад задлахад шаардагдах хамгийн бага энерги гэж тодорхойлогддог.

- с. Борын загвараар таамагласан устөрөгчийн молекулын холбоосын энерги  $E_b$ -ийг тооцоол. Та дараах устөрөгчийн атомын иончлолын энергийг ашиглаж болно:  $E_I = 13.606$  эВ. (1 оноо)

## 2-р хэсэг. $H_2$ молекулын хэлбэлзэл

Практикт молекул дахь атомын цөмүүд тайван биш харин тэнцвэрийн байрлалын орчим хэлбэлздэг. Энэ хэлбэлзэлд протонууд нь электронуудаас хангалттай их масстай байдаг тул молекул дахь электронуудын хурд нь цөмийн хурдаас олон дахин их байдаг. Ийм учраас молекул физикт электронууд цаг хугацааны хором бүрт протоны байрлалд тохирсон стационар тойрог замаар хөдөлдөг гэж үздэг. Өөрөөр хэлбэл электронууд цаг хугацааны хором бүрт тэнцвэрт байрлалд байх тойргоор хөдөлнө. Үүнийг физик химид Бор-Опенхеймерын ойролцоолол гэдэг. Уг ойролцооллыг энэ хэсэгт хэрэглэнэ.

- d. Протон нь тэнцвэрийн байрлалаасаа  $\Delta R$  ( $\Delta R \ll R_0$ ) зайд хазайхад электроны стационар орбитын өөрчлөлтийг  $\Delta r$  ( $\Delta r \ll r_0$ ) гэе. Тэгвэл  $\Delta r/\Delta R$  харьцааг ол. Энэ тооцоонд ( $x \ll 1$ ) үед хэрэг болох математик ойролцоолол
- $$(1 + x)^\alpha \approx 1 + \alpha x. \quad (2 \text{ оноо})$$

- e. Устөрөгчийн молекулын хэлбэлзлийн  $\nu_{\text{хэл}}$  давтамжийг ол. (2.5 оноо)

Молекулын хэлбэлзлийн давтамжийг хэмжих туршилтын аргуудын нэг бол Раман спектроскоп юм. Квант механикт  $\nu_{\text{хэл}}$  давтамжтай хэлбэлзэх систем бүр нь зөвхөн дискрет квантын  $h\nu_{\text{хэл}}$  утга бүхий энерги солилцож чаддаг гэж үздэг. Раман сарнил нь тодорхой  $\lambda_i$  долгион урттай туссан фотон молекултай харилцан үйлчилж, түүнд нэг квант хэлбэлзлийн энергийг шилжүүлэх үйл явц юм.

Үүний үр дүнд фотон нь  $\lambda_i$  анхны долгион уртаас их  $\lambda_s$  долгион урттай болдог.

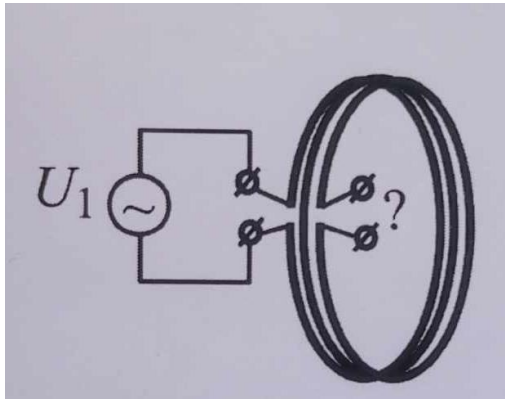
Раман процесст молекулын давших болон эргэлдэх хөдөлгөөнд хувирсан энерги нь хэлбэлзэлд шилжсэн энергиэс маш бага байдаг.

Тодорхой туршилтаар устөрөгчийн молекул дээр  $\lambda_i = 514$  нм долгионы урттай монохромат гэрэл тусгахад

$\lambda_s$  долгион урт бүхий сул сарнисан гэрэл байгаа нь тогтоогдсон бол  $\lambda_s$  долгионы уртыг ол. (1.5 оноо)

## Бодлого 2. Цахилгаан соронзон

Бүрээстэй дамжуулагч утсаар хийсэн ижил радиустай, гурван ижил цагаригийг зурагт үзүүлснээр байрлуулав. Эдгээр цагаригууд хоорондоо холбогдоогүй, хоорондын зайг тооцохгүй бага гэж үзээрэй. 1-р цагаригт  $\omega$  давтамжтай,  $U_1$  далайцтай хувьсах хүчдэл өгчээ. 2-р цагариг битүү бөгөөд 3-р цагариг задгай. Цагариг тус бүрийн эсэргүүцэл  $R$ , индукцлэл нь  $L$  болно.



### Даалгавар

- 1.1 1 ба 2-р цагаригийн харилцан индукцлэлийн коэффициентийг ол. (0.5 оноо)
- 1.2 Цагариг бүрийг нэвтрэх соронзон урсгалыг тэдгээрт харгалзах гүйдэл  $I_1, I_2, I_3$  болон  $L$  индукцлэлээр илэрхийлнэ үү. (0.5 оноо)
- 1.3 Цагариг бүрийн хувьд Омын хуулийг бичнэ үү. (1 оноо)
- 1.4 1 ба 2-р цагаригийн гүйдлийн нийлбэр  $I$ -ийг  $L, \omega, U_1, R$  болон фазын зөрүүг  $\varphi$ -ээр илэрхийлнэ үү. (2 оноо)
- 1.5  $U_1$  хүчдэл болон 1, 2-р цагаригийн нийлбэр гүйдлийн хоорондох фазын зөрүү  $\varphi$ -ийг  $L, \omega, R$  – ээр илэрхийлнэ үү. (1.5 оноо)
- 1.6 3-р цагаригийн задгай үзүүрүүд дээрх хүчдэлийн далайцыг  $L, \omega, U_1, R$ - ээр илэрхийлнэ үү. (1.5 оноо)
- 1.7 2-р цагаригаар гүйх гүйдлийн далайцыг олж,  $L, \omega, U_1, R$ - ээр илэрхийлнэ үү. (2 оноо)

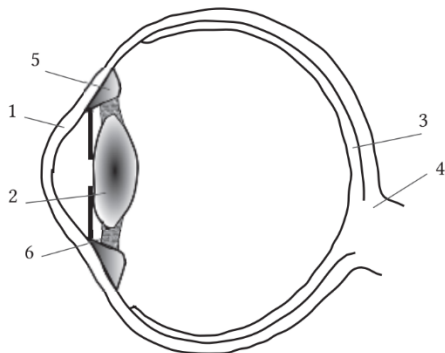
2-р гүйдэл ба  $U_1$  хувьсах хүчдлийн фазын зөрүүг олно уу.  $L, \omega, R$ - ээр илэрхийлнэ үү. (1 оноо)

### Бодлого 3. Оптик

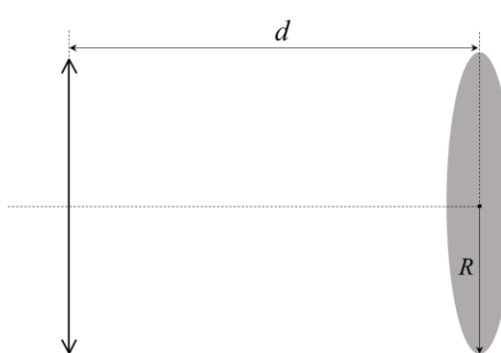
[10.0 оноо]

Хүний нүдний бүтцийн бүдүүвчийг доорх зурагт үзүүлэв (Зураг 1). Эвэрлэг бүрхэвч болон нүдний болрыг нэвтрэх хугарсан гэрлийн цацраг торлог бүрхэвч дээр тусдаг. Нүдний хялбаршуулсан загварт эвэрлэг бүрхэвч болон нүдний болрыг нийлмэл нэг линзээр (хойшид линз гэнэ) төлөөлүүлж, харин торлог бүрхэвчийг  $R=1.0$  см радиустай хавтгай

дугуй хэлбэртэй дэлгэц хэмээн загварчилъя. 2-р зурагт үзүүлснээр линзийн оптик тэнхлэг дэлгэцийн төвийг дайрна. Нүдний торлог бүрхэвч ба линзийн хоорондох зай  $d=2.4$  см. Хүн нүднийхээ линзийн фокусын зайг болрын булчингийн тусламжтай өөрчилж өөр өөр зайд байгаа биесийг харах чадвартай байдаг.



**Зураг 1.** Хүний нүдний бүтцийн бүдүүвч. (1) эвэрлэг бүрхэвч, (2) болор, (3) торлог бүрхэвч, (4) харааны мэдрэл, (5) болрын булчин, (6) холбоос эд.



**Зураг 2.** Хүний нүдний хялбаршуулсан загвар. Нүдний линз ба  $R$  радиустай дэлгэц (торлог бүрхэвч) хоорондоо  $d$  зайтай.

### I хэсэг

1)  $d_0=25$  см-ээс хол зайд байгаа биесийн дүрсийг нүдний торлог бүрхэвч дээр үүсгэж байвал хэвийн хараатай гэж үздэг. Тэгвэл хэвийн хараатай хүний нүдний линзийн фокусын зайн хамгийн бага  $f_{\min}$  болон хамгийн их  $f_{\max}$  утгыг тодорхойлоорой.

[1.0 оноо]

2) Холын хараа муутай хүний нүдний линзийн фокусын хамгийн их зай нь (1) даалгаварт тодорхойлсноос бага байдаг. Тэгвэл холын хараа муутай нэгэн хүн  $D_1=-1.0$  дптр оптик хүчтэй харааны шил зүүж алс зайд орших биесийг тод хардаг бол түүний нүдний линзийн фокусын зайг  $f_{\max}$  тодорхойлж, энэ хүн харааны шил зүүхгүйгээр тод харж чадах биесийн хамгийн хол зай  $\rho_{\max}$ -ийг олоорой. Харааны шил ба линзийн хоорондох зайг тооцохгүй.

[1.0 оноо]

3) Ойрын хараа муутай хүний нүдний линзийн хамгийн бага фокусын зай нь эхний даалгаварт тодорхойлсноос их байдаг. Ойрын хараа муутай нэгэн хүн  $d_0=25.0$  см-ийн зайд байгаа биесийг тод харахын тулд оптик хүч нь  $D_2=2.0$  дптр харааны шил зүүх хэрэгтэй байв. Түүний нүдний линзийн фокусын зайн  $f_{\min}$ -ийг тодорхойлж, харааны шил зүүхгүйгээр биесийг тод харах хамгийн бага зай  $\rho_{\min}$ -ийг олоорой.

[1.0 оноо]

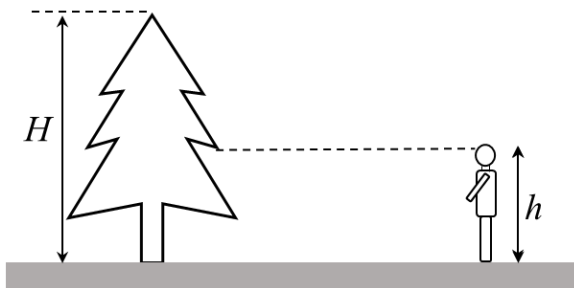
4) Торлог бүрхэвч ба линзийн хоорондох зай нь хэвийн  $d=2.4$  см зайнаас их байвал хүн холын хараа муутай эсвэл бага бол ойрын хараа муутай хэмээн үзэж болно. Нүдний торлог бүрхэвч ба линзийн хоорондох зай нь  $d_1=2.5$  см эсвэл  $d_2=2.3$  см хүн биесийг тод харахад шаардлагатай харааны шилний оптик хүчийг тодорхойлоорой.

[1.0 оноо]

5)  $h=2.0$  м өндөртэй, хэвийн хараатай хүн  $H=2h$  өндөртэй модыг ажиглаж байв (Зураг 3). Түүний хараа модны голд чиглэсэн байна. Хүн ба модны хоорондох зай хамгийн багадаа ямар байхад модыг бүхэлд нь харж чадах вэ? Модны дүрс нүдний торлог бүрхэвч дээр хэрхэн үүсэхийг байгуулалтаар харуулаарай. Хүний толгойн орой ба нүдний хоорондох зайг тооцохгүй.

[2.0

оноо]



Зураг 3. Даалгавар 5-ын зураг

## II хэсэг

Нүдний торлог бүрхэвч дээр гэрэл мэдрэх хоёр төрлийн эс байрладаг. Нэг нь савханцар эс ойролцоогоор  $N_1=10^8$  ширхэг бол нөгөө нь лонхонцор эс  $N_2=6 \cdot 10^6$  ширхэг орчим. Савханцар эс бүдэг гэрэлтэй (шөнө) үед харах боломж олгодог бол лонхонцор эс тод гэрэлтэй үед (өдөр) ашиглагддаг. Хэрвээ лонхонцор (савханцар) эсүүд өдөр (шөнө) хоорондоо тодорхой зайтай орших хоёр биеийг ялган харж чадна гэж бодъё. Мөн лонхонцор болон (савханцар) эс торлог бүрхэвчийн гадаргад жигд тархсан бөгөөд тэдгээрийн байрлал нь дөрвөлжин торыг үүсгэдэг гэж төсөөлөөрэй.

6) Хоёр цэгийн хоорондох зай  $a=1.0$  мм. Тэдгээрийг холбосон шулуун линзийн оптик тэнхлэгт перпендикуляр байна (Зураг 4). Өдрийн цагаар хэвийн хараатай хүн эдгээр хоёр цэгийг ялган харж чадах хамгийн их зайг тодорхойл.

[2.0

оноо]



Зураг 4. Даалгавар 6-ийн зураг.

7) Хэвийн хараатай замын цагдаа өдрийн цагаар автомашины дугаарыг хамгийн ихдээ ямар зайнаас салган уншиж чадах вэ? Автомашины дугаар дахь үсэг болон тоонууд нь

хоорондоо  $a=1.0$  см зайтай байна.

**[1.0 оноо]**

**8)** Хэвийн хараатай хүн шөнийн цагаар муурны хоёр нүдийг хамгийн ихдээ ямар зайнаас ялган харж чадах вэ? Муурны нүд хоорондоо ойролцоогоор  $a=2.0$  см зайд байрладаг.

**[1.0 оноо]**