

Ֆոտոէֆեկտն ուսումնասիրելու վիրտուալ լաբորատորիա

Գ.Վ. Ադեկյան, Է.Մ. Ղազարյան

Ֆիզիկայի դասավանդման համար տեղեկատվական տեխնոլոգիաների օգտագործման օգտակարությունն ապացուցելու կարիք չունի: Որ երևույթների ու օրինաչափությունների վիզուալիզացիան, վիրտուալ լաբորատորիաների կիրառումը ավելի հետաքրքիր, ընկալելի ու հիշարժան կդարձնեն դասը, որ կարող են բավական ժամանակ խնայել և այս ամենով բարձրացնել դասի էֆեկտիվությունն ու նյութի ընկալման խորությունը անառարկելի է:

Տեղեկատվական տեխնոլոգիաների օգնությամբ հնարավոր են ֆիզիկական այնպիսի երևույթների ու օրինաչափությունների մոդելավորում ու ցուցադրում, որոնք այլ միջոցներով անհնար է իրականացնել: Իսկ վիրտուալ լաբորատորիաները հնարավորություն են տալիս անցկացնել այնպիսի փորձեր, որոնց անցկացման համար անհրաժեշտ սարքավորումները թանկարժեքության, վտանգավորության, կամ այլ պատճառներով բացակայում են կամ էլ կան շատ քիչ ուսումնական հաստատություններում:

Իհարկե, վիրտուալ լաբորատորիաները չեն կարող լիարժեքորեն փոխարինել իրական լաբորատորիաներին, բայց սրանք էլ ունեն իրենց առավելությունները: Դրանցից են.

- մատչելիությունը,
- հեշտ կառավարելիությունը,
- գրաֆիկական ու դիագրամային հնարավորությունները,
- փորձի անցկացման համար անհրաժեշտ ժամանակի փոքրությունը:

Զմոռանանք նաև, որ այսօրվա իրական սարքերը շատ են տարբերվում 50, էլ չասենք 100 տարի առաջվա իրական սարքերից և կարող են պարունակել բազմաթիվ միկրոսխեմաներ ու էլեկտրոնային բաղադրիչներ, թվային ցուցիչներ: Դա, իհարկե, լավ է և հնարավորություն է տալիս շատ ավելի մեծ ճշտությամբ չափել ֆիզիկական մեծությունները: Բայց եթե մենք վստահում ենք թվային ամպերմետրի, վոլտմետրի ու առավել բարդ սարքերի ցուցմունքներին, ապա ինչու պիտի թերահավատորեն վերաբերվենք համակարգչի էկրանին հայտնվող ցուցմունքներին:

Հիմա մեկ թեմայի օրինակով դիտարկենք վիրտուալ լաբորատորիայի կիրառման հնարավորություններն ու առավելությունները: Խոսքը վերաբերվում է ֆոտոէֆեկտի (կամ արտաքին ֆոտոէֆեկտի) երևույթին:

Ֆոտոէֆեկտի թեմայի՝ նրա օրենքների ու տեսության կարևորությունը հիմնավորելու փոխարեն, հիշեցնենք, որ նաև ֆոտոէֆեկտի երևույթի բացատրության համար է Այնշտայնը արժանացել Նոբելյան մրցանակի:

12-րդ դասարանի ֆիզիկայի դասընթացում թեման ներկայացված է երեք պարագրաֆով և “Պլանկի հաստատունի որոշումը” լաբորատոր աշխատանքով (§§36-39) [1]:

Դժվար է ստույգ ասել, թե Հայաստանի քանի դպրոց հնարավորություն ունի իրականացնելու նախատեսված լաբորատոր աշխատանքը, բայց նման դպրոցների թիվը դժվար թե 50-ից ավելի լինի, այսինքն այդպիսի դպրոցների թիվը չի գրազանցում 3%-ը:

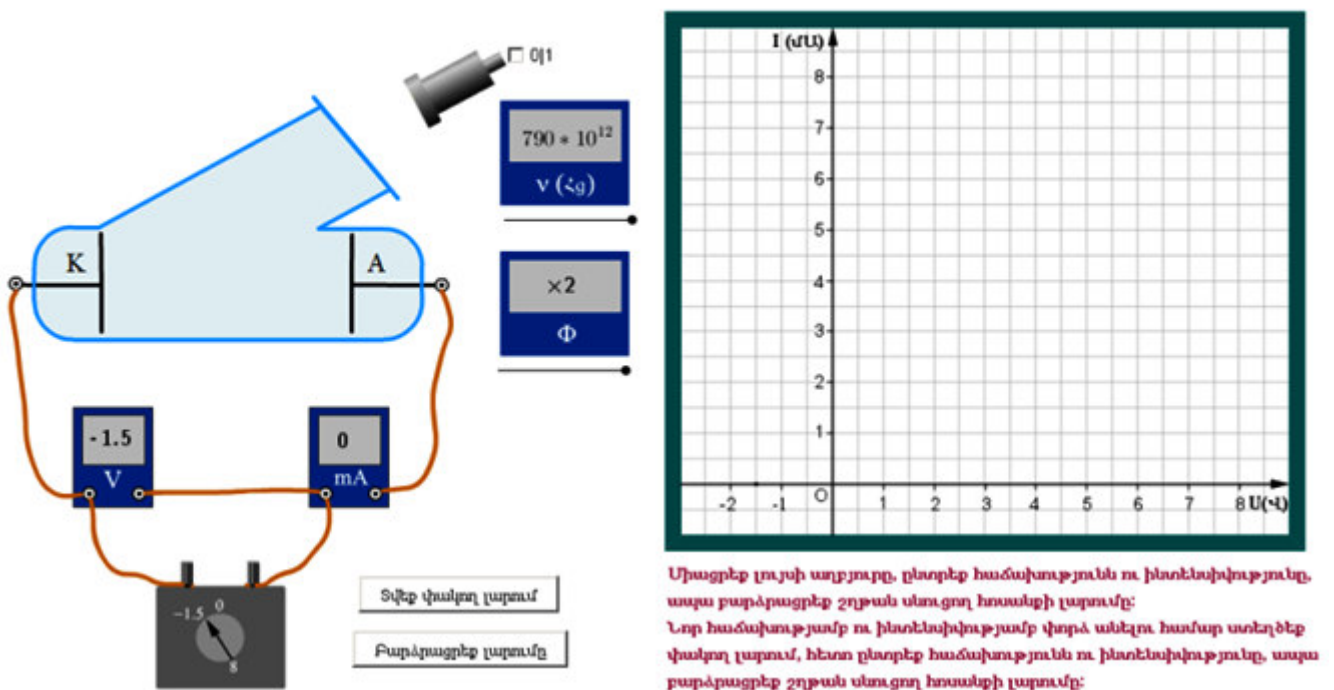
Նկատենք նաև, որ ֆոտոէֆեկտն ուսումնասիրելիս փորձերը պետք է իրականացնել լավ վակուումում և նախապես պետք է լավ մաքրել կաթոդի մակերևույթը: Գազի

առկայությունը բալոնում փոխում և բարդացնում է կաթոդի մակերևույթային շերտում ընթացող երևույթը: Ավելին՝ կաթոդի մակերևույթի հատուկ մշակումը հնարավորություն է տալիս ֆոտոէֆեկտ դիտել ոչ միայն տեսանելի լույսի տիրույթում, որը ակալիական մետաղների դեպքում դիտվում է նաև առանց հատուկ մշակման, այլև ինֆրակարմիր ալիքների տիրույթում: Այսպիսով, իրական սարքերով ֆոտոէֆեկտն ուսումնասիրելու մաքուր փորձեր իրականացնելը բավականին բարդ է:

Ֆոտոէֆեկտի օրինաչափություններն ուսումնասիրելու և Պլանկի հաստատունը որոշելու վիրտուալ լաբորատորիան ստեղծվել է GeoGebra համակարգչային ծրագրով [2-4]:

Վիրտուալ լաբորատորիայի տեսքը համակարգչի էկրանին բերված է նկ. 1-ում:

Ֆոտոէֆեկտն ուսումնասիրելու վիրտուալ լաբորատորիա



Նկ.1

Ինչպես տեսնում ենք, ապակե բալոնի մեջ տեղադրված A և K էլեկտրոդները միացված են հոսանքի աղբյուրին, որոնց տրվող լարումը չափվում է V վոլտաչափով, իսկ հոսանքի ուժը՝ mA միլիամպերաչափով: Լույսի աղբյուրն ունի անջատիչ, իսկ համապատասխան սողնակները շարժելով կարելի է փոխել ինչպես ընկնող լույսի ν հաճախությունը, այնպես էլ Φ ուժգնությունը: Տեսնում ենք ևս երկու կոճակ, որոնցից մեկը բարձրացնում է հոսանքի աղբյուրի լարումը (Բարձրացրեք լարումը), իսկ մյուսը՝ լարումը վերադարձնում է սկզբնական վիճակին (Տվեք փակող լարում): I ֆոտոհոսանքի ուժի կախումն էլեկտրոդներին կիրառված U լարումից ստանալու համար նախատեսված է գրաֆիկական հնարավորություն, որում էլ հոսանքի ուժի աճմանը զուգընթաց պատկերվում է այդ կախման գրաֆիկը:

Միացնենք լույսի աղբյուրը, ընտրենք ընկնող լույսի $580 \cdot 10^{12}$ Հց-ից մեծ որևէ հաճախություն, իսկ ուժգնության համար՝ հնարավոր փոքրագույն արժեքը և ստանանք ֆոտոէֆեկտի վոլտամպերային բնութագիծը:

Վոլտամպերային բնութագծի կախվածությունն ընկնող լույսի ուժգնությունից պարզելու նպատակով նույն հաճախության համար փորձը կրկնենք ևս երկու անգամ՝ մեծացնելով ընկնող լույսի ուժգնությունը:

Նկ. 2-ում պատկերված է նույն կաթոդի դեպքում I ֆոտոհոսանքի ուժի կախումը U լարումից՝ լույսի երեք տարբեր ուժգնությունների համար (Φ , $\Phi_1 = 1.5\Phi$; $\Phi_2 = 2\Phi$): Ստացված կորերից կարելի է հանգել հետևյալ եզրակացություններին:

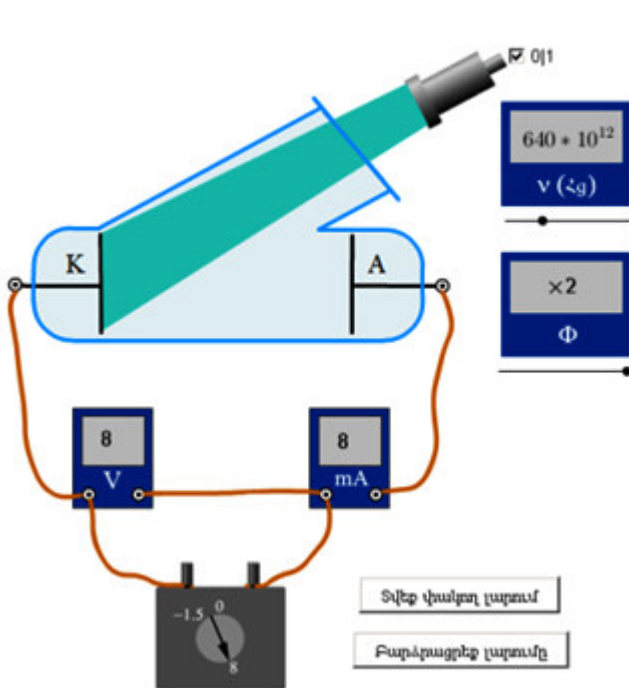
Երբ էլեկտրոդներին կիրառված լարումը՝ $U = 0$, ֆոտոհոսանքի ուժը տարբերվում է զրոյից՝ $I \neq 0$: Նշանակում է՝ լույսի ազդեցությամբ կաթոդից պոկված էլեկտրոններն ունեն կինետիկ էներգիա, որի շնորհիվ հասնում են անոդին՝ շղթայում ստեղծելով հոսանք:

Էլեկտրոդներին կիրառված լարումը մեծացնելիս ֆոտոհոսանքի ուժը մեծանում է, սակայն որոշակի U_h արժեքից մեծ լարումների դեպքում ֆոտոհոսանքի ուժն այլևս չի աճում և մնում է հաստատուն: Այս լարմանը համապատասխանող հոսանքի ուժի I_h արժեքն անվանում են **հագեցման հոսանքի ուժ**: Հագեցումը պայմանավորված է նրանով, որ կաթոդից պոկված բոլոր էլեկտրոնները հասնում են անոդին:

Հագեցման հոսանքի արժեքն ուղիղ համեմատական է ընկնող լույսի ուժգնությանը:

Որոշակի U_g կասեցնող լարման դեպքում ֆոտոհոսանքի ուժը դառնում է զրո՝ անկախ K էլեկտրոդին ընկնող լույսի ուժգնությունից: Նշանակում է՝ K էլեկտրոդից պոկված ոչ մի էլեկտրոն չի հասնում A էլեկտրոդին: Այդ դեպքում էլեկտրոդների միջև առկա էլեկտրական դաշտն արգելակում է էլեկտրոնների շարժումը դեպի A էլեկտրոդ:

Ֆոտոէֆեկտի ուսումնասիրելու վիրտուալ լաբորատորիա



Միացրեք լույսի աղբյուրը, ընտրեք հաճախություն ու ինտենսիվությունը, ապա բարձրացրեք շղթան սնուցող հոսանքի լարումը:
Նոր հաճախությամբ ու ինտենսիվությամբ փորձ անելու համար ստեղծեք փակող լարում, հետո ընտրեք հաճախություն ու ինտենսիվությունը, ապա բարձրացրեք շղթան սնուցող հոսանքի լարումը:

Նկ.2

Հիմա տեսնենք, թե ինչ ազդեցություն է ունենում ընկնող լույսի հաճախության մեծացումը ֆոտոէֆեկտի վոլտամպերային բնութագրի վրա: Դրա համար միացնենք լույսի աղբյուրը, ընտրենք ընկնող լույսի առավելագույն ուժգնությունը, իսկ հաճախությունը՝ $580 \cdot 10^{12}$ Հց և ստանանք ֆոտոէֆեկտի վոլտամպերային բնութագիրը: Նույն ուժգնության համար փորձը կրկնենք ևս երկու անգամ՝ մեծացնելով ընկնող լույսի հաճախությունը:

Նկ. 3-ում պատկերված է նույն կաթոդի դեպքում, I ֆոտոհոսանքի ուժի կախումը U լարումից՝ լույսի երեք տարբեր հաճախությունների համար ($580 \cdot 10^{12}$ Հց, $700 \cdot 10^{12}$ Հց, $790 \cdot 10^{12}$ Հց): Ստացված կորերից կարելի է հանգել հետևյալ եզրակացություններին:

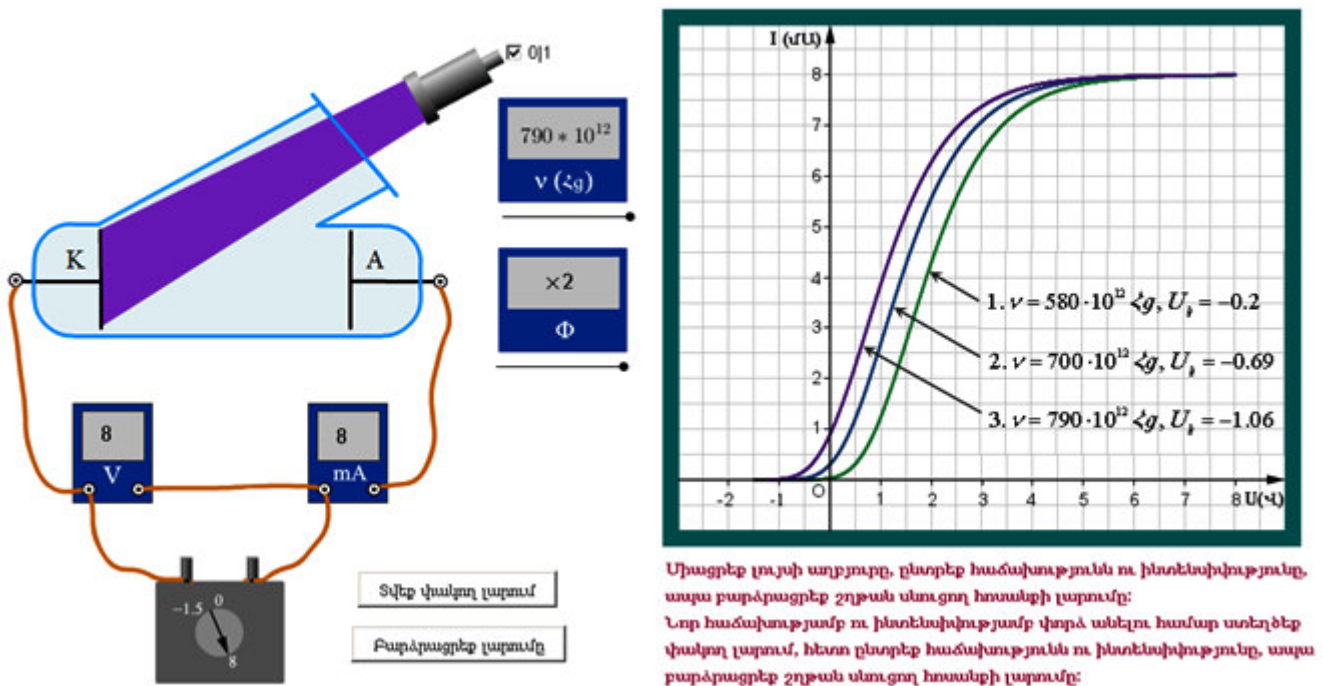
Հազեցման հոսանքի արժեքը կախված չէ ընկնող լույսի հաճախությունից:

Կասեցնող լարումը, ընկնող լույսի հաճախության մեծացմանը զուգընթաց մեծանում է, այսինքն՝ ընկնող լույսի հաճախության մեծացմանը զուգընթաց աճում է ֆոտոէլեկտրոնների կինետիկ էներգիան:

Որպեսզի պատասխանենք այն հարցին, թե ընկնող լույսի բոլոր հաճախությունների դեպքում է հնարավոր ֆոտոէլեկտ, միացնենք լույսի աղբյուրը, ընկնող լույսի հաճախությունը դարձնենք $550 \cdot 10^{12}$ Հց, իսկ ուժգնությունը՝ հնարավոր առավելագույնը և սկսենք բարձրացնել սնուցող լարումը:

Պարզվում է, որ նույնիսկ առավելագույն ուժգնության դեպքում ֆոտոհոսանք չի առաջանում (տես նկ. 4):

Ֆոտոէլեկտն ուսումնասիրելու վիրտուալ լաբորատորիա



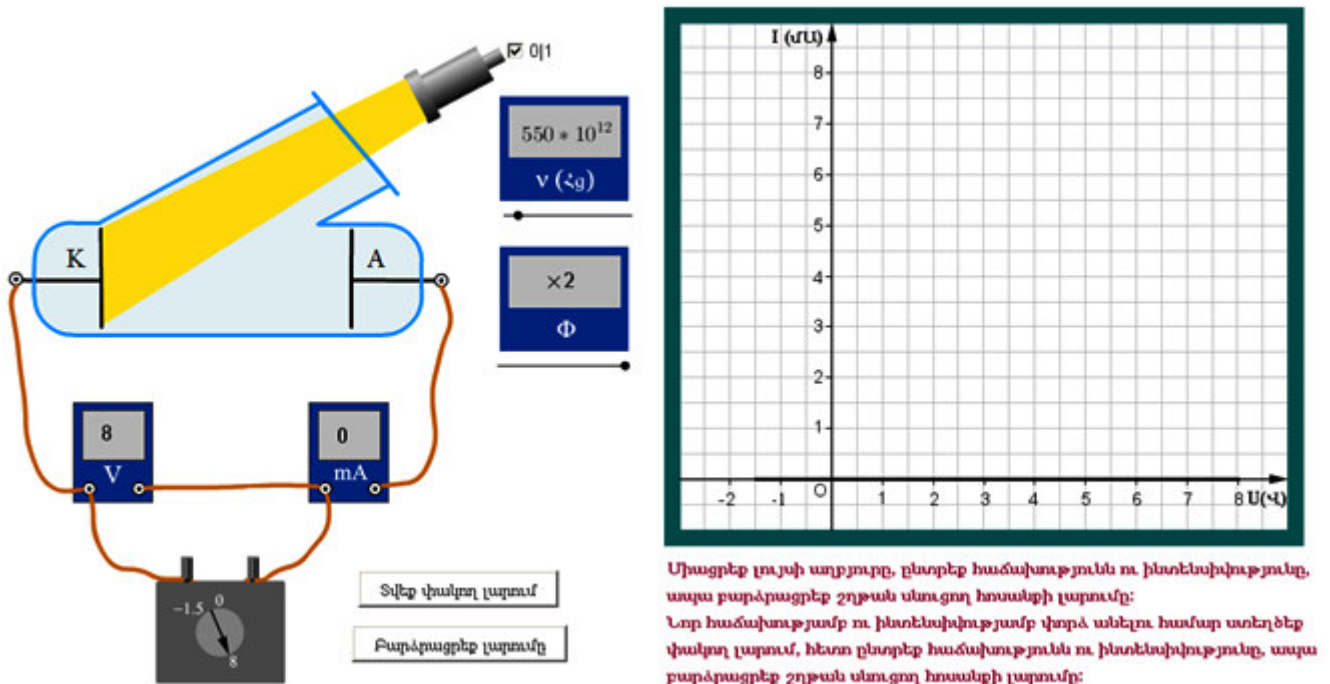
Նկ.3

Վերը նկարագրված փորձերից ելնելով՝ կարելի է ձևակերպել ֆոտոէլեկտի հետևյալ օրենքները:

1. Հազեցման ֆոտոհոսանքի ուժն ուղիղ համեմատական է ընկնող լույսի ուժգնությանը. $I_h \sim \Phi$:
2. Ֆոտոէլեկտրոնների առավելագույն կինետիկ էներգիան կախված չէ ընկնող լույսի ուժգնությունից, իսկ հաճախության մեծացման հետ այն աճում է գծային օրենքով:
3. Յուրաքանչյուր նյութի համար գոյություն ունի հաճախության որոշակի ν_{\min} արժեք, որից փոքր հաճախությունների դեպքում ֆոտոէլեկտ չի դիտվում: ν_{\min} հաճախությունը կոչվում է ֆոտոէլեկտի կարմիր սահման:

Սրանցից առաջինը չի հակասում դասական պատկերացումներին, բայց երկրորդն ու երրորդը հնարավոր չէ բացատրել դասական ֆիզիկայի սահմաններում:

Ֆոտոէֆեկտն ուսումնասիրելու վիրտուալ լաբորատորիա



Նկ.4

Ֆոտոէֆեկտն ունի եւս մեկ օրինաչափություն, որը հնարավոր չէ բացատրել դասական ֆիզիկայի սահմաններում: Դա ֆոտոէֆեկտի **ոչ իներցիոնությունն է**:

Ֆոտոէֆեկտ առաջացնող ընկնող լույսի որևէ հաճախության դեպքում, եթե հոսանքի աղբյուրի լարումը բարձրացնելու ընթացքում անջատում ենք լույսի աղբյուրը, ապա ֆոտոհոսանքն անմիջապես անհետանում է (արժեքը դառնում է 0): Լույսը նորից միացնելու դեպքում անմիջապես գրանցվում է ֆոտոհոսանք: Սա խոսում այն մասին, որ ֆոտոէֆեկտը ոչ իներցիոն երևույթ է: Ոչ իներցիոնության վրա են հենված ֆոտոէֆեկտի գրեթե բոլոր գիտա-տեխնիկական կիրառությունները:

Քանի որ դասագրքում ֆոտոէֆեկտի ոչ իներցիոնությունը ներկայացված է որպես փաստ ու բացատրություն կամ մեկնաբանություն չի տրված, ապա, մինչև Պլանկի հաստատումը որոշելու փորձին անցնելը, ներկայացնենք հարցի էությունն ու նրա բացատրությունը:

Բանն այն է, որ դասական ալիքային տեսության վրա հիմնված հաշվարկները ցույց են տալիս, որ էլեկտրոնին ելքի համար անհրաժեշտ էներգիա հաղորդելու համար որոշակի ժամանակ պետք կլիներ, այսինքն ֆոտոէֆեկտը պիտի ունենար որոշակի ուշացում: Փորձի հետ եղած այս հակասությունը վերանում է, երբ երևույթը դիտվում է, որպես ֆոտոնների և էլեկտրոնների ոչ առաձգական բախում: Այսպիսի բախման դեպքում ֆոտոնը կլանվում է, իսկ նրա էներգիան փոխանցվում է էլեկտրոնին: Այսպիսով, էլեկտրոնը լրացուցիչ կլինելի էներգիա է ձեռք բերում ոչ թե աստիճանաբար, այլ միանգամից:

Այստեղ հարց կարող է ծագել, թե ինչպես կարող են մետաղում եղած էլեկտրոնները ֆոտոն կլանել, երբ հայտնի է, որ ազատ էլեկտրոնը չի կարող ֆոտոն կլանել: Հարցին չենք ուզում պատասխանել՝ հնարավորություն տալով ընթերցողին ինքնուրույն գտնել դրա պատասխանը:

Պլանկի հաստատունի որոշումը

Տեսական մաս - Ֆոտոէֆեկտի համար Այնշտայնի տեսությանը համաձայն՝ ընկնող ֆոտոնի $h\nu$ էներգիան ծախսվում է մետաղի մակերևույթից էլեկտրոն պոկելու անհրաժեշտ ելքի A աշխատանքի և էլեկտրոնին $E_y = \frac{mv^2}{2}$ կինետիկ էներգիա հաղորդելու համար՝

$$h\nu = A + \frac{mv^2}{2} = A + E_y$$

Պլանկի h հաստատունը որոշելու համար օգտվենք Այնշտայնի այս բանաձևից: Ընկնող ճառագայթման հաճախության երկու տարբեր ν_1 և ν_2 արժեքների համար գրենք Այնշտայնի բանաձևը՝ $h\nu_1 = A + E_{y1}$, $h\nu_2 = A + E_{y2}$: Այստեղ E_{y1} -ը և E_{y2} -ը ընկնող լույսի ν_1 և ν_2 հաճախություններին համապատասխանող ֆոտոէլեկտրոնների առավելագույն կինետիկ էներգիաների արժեքներն են: Ստացված արտահայտություններից, արտաքսելով ելքի A աշխատանքը, կստանանք՝ $h = \frac{E_{y2} - E_{y1}}{\nu_2 - \nu_1}$:

Ֆոտոէլեկտրոնների առավելագույն կինետիկ էներգիաների արժեքները արտահայտելով կասեցնող U_{y1} և U_{y2} լարումներով՝ $E_{y1} = eU_{y1}$ և $E_{y2} = eU_{y2}$ ($e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Կլ էլեկտրոնի լիցքն է), Պլանկի h հաստատունը որոշելու համար կունենանք հետևյալ հաշվարկային բանաձևը՝ $h = e \frac{U_{y2} - U_{y1}}{\nu_2 - \nu_1}$ (1)

Վիրտուալ փորձի կատարման ընթացքը.

1. Գործարկեք վիրտուալ լաբորատորիայի ֆայլը:
2. Միացրեք լույսի աղբյուրը:
3. Համապատասխան սողնակի օգնությամբ ընտրեք ընկնող լույսի ֆոտոէֆեկտ առաջացնող հաճախություն:
4. Սեղմելով “Բարձրացրեք լարումը” կոճակը՝ բարձրացրեք շղթան սնուցող հոսանքի լարումը:
5. Սպասեք մինչև սնուցող լարումը հասնի առավելագույն արժեքին և էկրանին հայտնվի կասեցնող լարման արժեքը:
6. Ընկնող լույսի հաճախության արժեքը և կասեցնող լարման արժեքի մոդուլը տեղադրեք աղյուսակում:
7. Սեղմեք “Տվեք փակող լարում” կոճակը և լարումը դարձրեք -1,5 Վ:
8. Կրկնեք 3 և 7 կետերը ընկնող լույսի հաճախության նոր արժեքի համար:
9. Հաշվեք Պլանկի հաստատունի արժեքը հաշվարկային (1) բանաձևով և տեղադրեք այն աղյուսակում:
10. Հաշվեք Պլանկի հաստատունի միջին \bar{h} արժեքը:
11. Պլանկի հաստատունի համար ստացված միջին \bar{h} արժեքը համեմատեք աղյուսակային արժեքի հետ՝ $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Ջվ: Հաշվեք փորձով ստացված արժեքի՝ աղյուսակային արժեքից ունեցած շեղումը տոկոսներով ըստ հետևյալ

$$\text{բանաձևի՝ } \text{Շեղումը} = \frac{|h - \bar{h}|}{h} \cdot 100\% :$$

Աղյուսակում ներկայացված է վիրտուալ լաբորատորիայով ստացված հաշվարկային օրինակ:

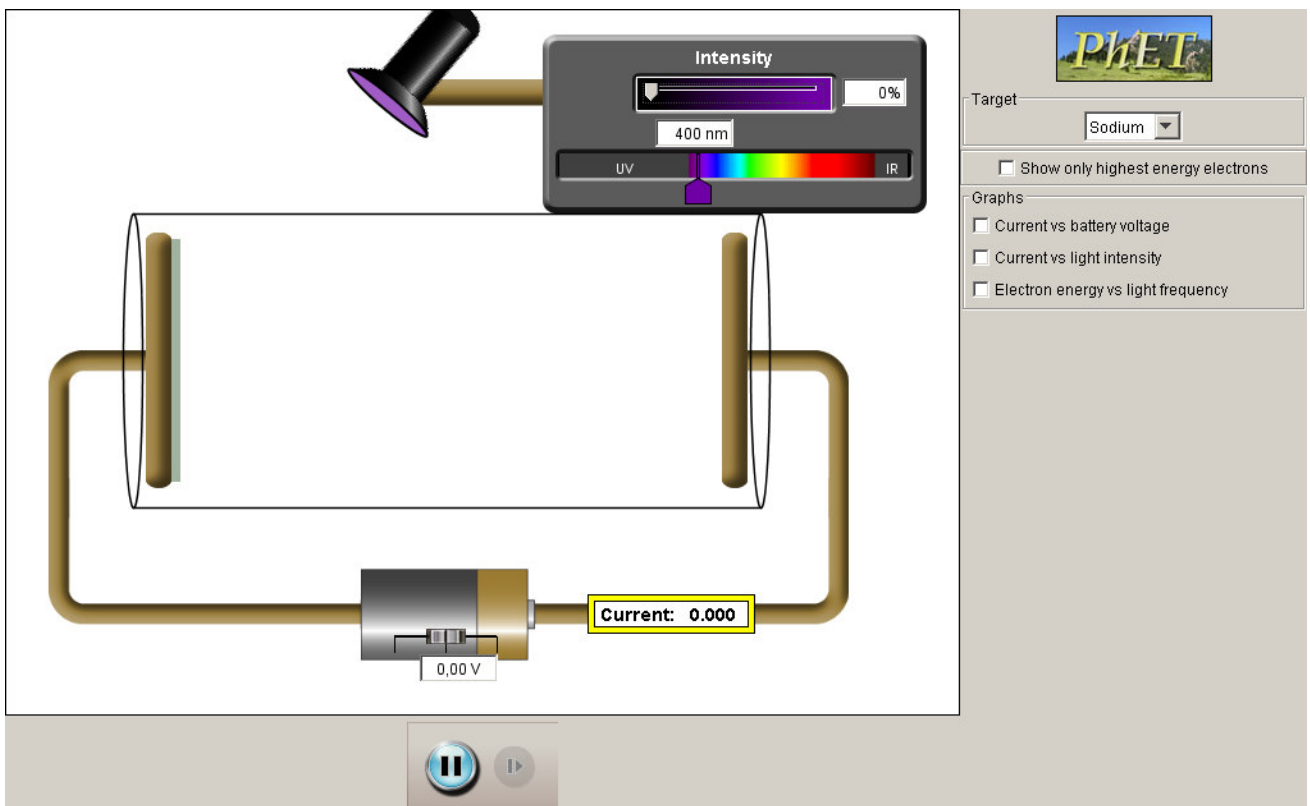
N	ν_1 (Հց)	ν_2 (Հց)	U_1 (Վ)	U_2 (Վ)	h (Ջվ)
1	$580 \cdot 10^{12}$	$640 \cdot 10^{12}$	0,2	0,44	$6,4 \cdot 10^{-34}$
2	$610 \cdot 10^{12}$	$700 \cdot 10^{12}$	0,32	0,69	$6,5 \cdot 10^{-34}$
3	$760 \cdot 10^{12}$	$790 \cdot 10^{12}$	0,93	1,06	$6,9 \cdot 10^{-34}$
$\bar{h} = 6,6 \cdot 10^{-34}$ Ջվ					

Շեղումը = $\frac{|6,626 - 6,6|}{6,626} \cdot 100\% = 0,4\%$, որը բավականին փոքր սխալ է:

Այսպիսով, տեսնում ենք, որ ստեղծված վիրտուալ լաբորատորիան կոգնի ուսուցիչներին ֆոտոէֆեկտի թեման հետաքրքիր ձևով մատուցելու, ինչպես նաև թեմայում նախատեսված լաբորատոր աշխատանքն իրականացնելու համար, որը, ինչպես արդեն նշել ենք, դպրոցների ճնշող մեծամասնությունում հնարավոր չէ իրականացնել:

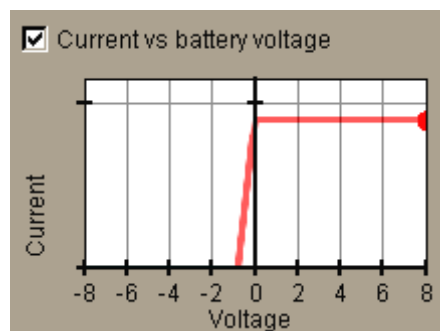
Որպեսզի տպավորություն չառաջանա, որ մեր ստեղծածը ֆոտոէֆեկտի միակ վիրտուալ լաբորատորիան է, մի քանի խոսքով ուզում ենք ներկայացնել ֆոտոէֆեկտի վիրտուալ լաբորատորիայի մեզ հայտնի լավագույն տարբերակը [5] և որոշ պարամետրերով համեմատենք այն առաջարկվող տարբերակի հետ:

Վիրտուալ լաբորատորիայի տեսքը համակարգչի էկրանին բերված է նկ. 5-ում:



Նկ. 5

Ինչպես տեսնում եք կան բազմաթիվ սողնակներ, որոնք հնարավորություն են տալիս կարգավորել փորձի պարամետրերը, կան նաև գրաֆիկական հնարավորություններ, որոնք օգտագործողի ցանկությամբ կարող են բացվել կամ փակվել: Այս լաբորատորիան սողնակների առատությամբ գերազանցում է մեր առաջարկած տարբերակին (մեր տարբերակը նույնպես կարող է հարստացվել նոր սողնակներով, որն է սկզբունքային արգելք չկա), դիզայնը նույնպես ավելի տպավորիչ է, բայց լաբորատորիայի լեզուն անգլերեն է (կան նաև այլ տարբերակներ, բայց ոչ հայերեն կամ գոնե ռուսերեն): Մյուս տարբերությունն այն է, որ ֆոտոէֆեկտի վոլտամպերային բնութագիծը այստեղ ներկայացվում է նկար 6-ում բերված տեսքով: Ըստ այս գրաֆիկի, սնուցող լարման ինչ-որ արժեքից սկսած, ֆոտոհոսանքը զծային աճում է, իսկ լարման ոչ բացասական արժեքների համար հաստատուն է: Ի տարբերություն մեր առաջարկած տարբերակի, այստեղ ոչ առաջին, ոչ էլ երկրորդ տիրույթում ֆոտոհոսանքը չի համապատասխանում իրական ֆոտոհոսանքի վարքին, և սխալ պատկերացում կձևավորի սովորողների մոտ:



Նկ. 6

Այս լաբորատորիայի ծավալը 2667կբ է, որը 80 անգամ մեծ է մեր լաբորատորիայի ծավալից: Առաջին հայացքից սա մանրուք կարող է թվալ, բայց եթե գործ ունենանք նման լաբորատորիաների հավաքածուի հետ, ապա այդ հանգամանքը կարող է էական դառնալ:

Ի միջայլոց, [5]-ում ներկայացված կայքը պարունակում է շատ մեծ քանակի վիրտուալ լաբորատորիաներ ու ցուցադրումներ ոչ միայն ֆիզիկայի տարբեր թեմաներով, այլ նաև մյուս բնագիտական առարկաների ու մաթեմատիկայի տարբեր թեմաներով: Այնպես որ շատ դեպքերում ընթերցողները հաջողությամբ կարող են օգտվել այդ կայքից: Մենք չենք թերագնահատում Կոլորադոյի համալսարանի վերոհիշյալ կայքում տեղադրված միջոցները, որոնք ստեղծելու վրա աշխատել է պրոֆեսիոնալների մի ամբողջ խումբ, ուղղակի դրանցից մեկը համեմատեցինք մեր առաջարկած տարբերակի հետ:

Վերջում նշենք, որ դպրոցներին Geogebra ծրագրով ստեղծված վիրտուալ լաբորատորիայից օգտվելու հնարավորություն տալու համար դա տեղադրվել է www.mathnet.am կայքում (Տեսանյութեր -> ինտերակտիվ մոդելներ -> Ֆիզիկա -> Ֆոտոէֆեկտն ուսումնասիրելու վիրտուալ լաբորատորիա):

Ավելացնենք նաև, որ ֆոտոէֆեկտի ուսումնասիրման վիրտուալ լաբորատորիան GeoGebra ծրագրով ստեղծված միակ լաբորատորիան չէ, ծրագիրը հնարավորություն է տալիս ստեղծել նման լաբորատորիաներ ամենատարբեր թեմաներով (օրինակ, տես [3,4]):

Գրականություն

1. Ավագ դպրոցի 12-րդ դասարանի դասագիրք ընդհանուր և բնագիտամաթեմատիկական հոսքերի համար/ Է.Ղազարյան, Ա.Կիրակոսյան, Գ. Մելիքյան և այլք.–Եր.: «Էդիթ Պրինտ», 2011թ:
2. Գ.Վ.Աղեկյան «Geogebra. Դինամիկ մաթեմատիկա բոլորի համար», Երևան, «Անտարես», 2012թ.:
3. Գ.Վ.Աղեկյան, Ն.Գ.Աղեկյան «GeoGebra ծրագրի, որպես ֆիզիկայի վիրտուալ լաբորատորիայի, կիրառման հնարավորության մասին»: Բնագիտությունը 21-րդ դարում. ուսուցման հիմնախնդիրներ և լուծումներ: Համահայկական III կրթական գիտաժողով, 2012թ.:
4. Գ.Վ.Աղեկյան, Ն.Ա. Նազարյան «Հավաքող ոսպնյակով պատկերի կառուցման ինտերակտիվ մոդել»: «Բնագետ», թիվ 3, 2012թ.:
5. <http://phet.colorado.edu/en/simulation/photoelectric>