

Гэрэл, бодисын харилцан үйлчлэл

Д.Нямаа, Д.Найдан

ШУА. ФТХ-ийн Биофизикийн лаборатори

Гэрэл бодисын харилцан үйлчлэлийг тайлбарлах нь физикчдийн "мөнхийн" сэдэв байх.

20-р зууны эхэнд Ньютоны механик, классик электродинамикийн хуулиудаар атомын дотоод процесс ба цахилгаан соронзон долгион /гэрэл/ бодисын харилцан үйлчлэлийг тайлбарлах боломжгүй гэдэг нь тодорхой болжээ.

Энд гэрлийн хоёрдмол шинж чанар (дуализм) туршилтаар нээгдсэн, атомын оптик спектрийн үүсэл, атомын бүтэцтэй холбоотой хоёр бүлэг асуудлыг зөв тайлбарлах гэсэн ордлогын үр дүнд квант механикийн хуулиуд үүсэж хөгжсөн түүхтэй ажээ.

1. Фотофизикийн процесс.

А.Эйнштейн харьцангуйн онолынхоо зэрэгцээгээр квант онолыг хөгжүүлэхэд их үүрэг гүйцэтгэсэн нь тодорхой байдаг.

А.Эйнштейн цацаргалтын орны бүтэц, түүний дискрет болох тухай төсөөлөл дээрээ үндэслэж 1900 онд Макс Планкийн нээсэн "гэрэл квантаар цацрах онолыг фотоцахилгааны эффектээр өргөтгөж хамгийн зөв тайлбарласан байна. Энэхүү нээлт нь нобелийн шагнал авахад гол тодорхойлолт болсон байдаг. Энэ онолоор: электроны энерги нь гэрлийн давтамж ихсэхтэй хамт өсөх ба гэрлийн эрчмээс хамаарахгүй гэдгийг онолоор урьдчилан хэлсэн явдал юм.

Металл гадаргуугаас электроныг "суга цохин" гаргахад тодорхой ажил-энерги шаардана.

$$\text{Электроны энерги: } E = A + \frac{mv^2}{2}$$

болох ба кинетик энерги нь $E = h\nu - A$ болно. Энэ онолоор Цезийн атомын хувьд: $A=1.8$ эВ, $E_{\text{мин}}=2$ эВ, $E=3.8$ эВ гэж тооцсон байна.

Эйнштейн 1905 онд гэрлийн квант бүтцийг тодорхойлсон ч гэрлийн долгиолог шинж чанар бүрэн тайлбарлагдаагүй байжээ.

Энэ нь релятив квант механикийн онол буй болсоноор бүрэн тайлбарлагджээ. Гэрэл цацрах физик зүй тогтлыг

- гэрлийн аяндаа явагдах цацаргалт, A_k
- албадмал цацаргалт, B_k

- индукцийн цацаргалт, B_k гэж явагддагийг тайлбарлажээ. Эйнштейны коэффициентууд нь энергийн түвшингийн хоорондох шилжилтийн магадлалыг заана.

Гэрэл бол $E=h\nu$ - энергитэй, ν -давтамжтай цахилгаан соронзон долгион юм.

Урвалд орж буй бодисыг нэг моль гэвэл нийт энерги нь Авогодрагийн тоогоор үржүүлсэнтэй тэнцүү:

$$E = h\nu N_A \text{ байна.}$$

Энэхүү 1 моль квантын энергийг Эйнштейн гэж нэрлэсэн байна.

$$1 \text{ Эйнштейн} = 8160V(\lambda) \cdot 1/\lambda \text{ лю.с}$$

$V(\lambda)$ -функцийг хүний нүдний гэрэл мэдрэх спектрийн харьцангуй эрчим. Ногоон гэрэлд ($\lambda=555$ нм-т) нэгтэй тэнцүү (максимум утга) гэж үздэг.

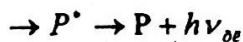
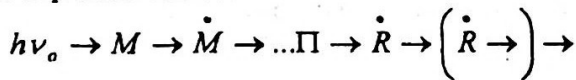
Эйнштейн молекулд шингээгдсэн нэг фотон зөвхөн тэр молекулыг урвалд оруулна гэсэн хуулийг томъёолсон байна. Энэний үндсэн дээр фотофизик, фотохимийн процессуудын квант гарцыг тодорхойлсон хууль гарсан байна.

Орчин үед хийгдэж буй квант биофизикийн судалгааны

- уургийн молекул, гэрлийн харилцан үйлчлэл,
- уураг будагч бодисын харилцан үйлчлэл,
- энергийн миграц, (донор-акцепторын механизм),
- биомакромолекулын фотодинамик ба сонофотоэффектуудийн физик үндэс, үйлчлэлийн механизм
- энергийн түвшингүүдийн хооронд электроны шилжилт явагдах магадлал, өөрөөр хэлбэл өдөөгдсөн түвшингээс явагдах электроны цацаргалт, цацаргалтын бус замаар дезактивац болох зэрэг процессыг энэ хуулиар тайлбарласан байдаг.

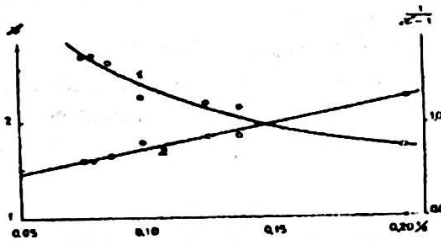
Фотолюминесценцийн судалгаагаар уургийн молекулд гэрэл шингээгдэх, гэрэл цацруулах зүй тогтлыг илрүүлж, спектрийн параметруудын өөрчлөлтөөр макромолекулын бүтэц биофизикийн шүтэлцээг судлах мэдрэмтгий аргуудыг молекул биофизикийн судалгаанд өргөн хэрэглэж байна [1, 2, 3].

Гэрлийн үйлчлэлээр макро-молекулын чөлөөт радикалууд үүсч фотохимийн гинжин урвалд орж эцэст нь гэрэл цацруулах механизмыг тайлбарлахад чиглэсэн ажлууд макромолескулд явагдах фотофизикийн процесс, уусмалын фотохемилюминесценц ФХЛ-ийн кинетик зүй тогтлыг туршилтаар нотлоход чиглэгджээ [4,5]. ФХЛ-г дараахь байдлаар загварчилж болно.



Энд М-молекул, Π - завсрын бүтээгдэхүүн R - чөлөөт радикал, P - эцсийн бүтээгдэхүүн $h\nu_{oe}$ - хэт сул цацаргалт буюу фотохемилюминесценцийн эрчим.

График дээр будагч бодис - АНС-аар өсгөлт хийсэн уургийн (ийлдсийн альбумин) ФХЛ-ийн эрчим, концентрацын аноморфозын хамаарлыг харуулав (Зураг 1).



Зураг. 1. Ухрийн цусны ийлдсийн ФХЛ-ийн эрчмийн өсөлт, уургийн концентрацын хамаарал, түүний анаморфоз. $C_{АНС} = 1.14 \cdot 10^{-3} M$, $t_{обс} = 15$ сек

Уургийн уусмалд явагддаг фотоэффект, холбогдох параметруудийг дараахь томъёогоор тооцов.

$$\frac{1}{N-1} = \frac{(1 + f_{p/k \cdot \eta_r})}{(\eta_k / \eta_p - 1)} \cdot \left(1 + \frac{1 + K_d \cdot \eta \cdot C_d}{k \cdot K_k} \right)$$

$N = J_o / J$, J_o, J - будагч бодисгүй, бодистой үеийн ФХЛ-ийн эрчим, η_r, η_p - будагч ба бүтээгдэхүүний квант гарц. f_p, K_R, K_k - холбогдох урвалын хурдны тогтмолууд.

ФХЛ-ийн эрчмийн өсгөлтийн коэффициентийн аноморфозыг идэвхжүүлэгчийн концентрацын хамаарал, тоон утгуудыг дараахь хүснэгтэд харуулав [2]

Будагч	η	$N_{пред}$	$K_o \cdot 10^{-3}$ M^{-1}	$K_R \cdot 10^{-4}$ M^{-1}	K/f_p
АНС	0.75	7.7	2	25	9
Эозин	0.2	1000	0.8	0.34	10^4

ШУА-ийн ФТХ-ийн Биофизикийн лабораторид аминхүчил, уураг, пептидын сонохемилюминесценц, "Уураг, пептидын уусмалын сенсibiliзацалсан сонофотолюминесценцийн судалгааны ажлын үр дүн ультра дуу ба бодисын харилцан үйлчлэлийн физик, химийн үндсийг тайлбарлахад чиглэж байна [5,6].

Бидний судалгааны ажил гэрэл, бодисын харилцан үйлчлэлийг фотохими, фотолюминесценц, фотохемилюминесценцийн аргуудаар судлахын зэрэгцээгээр хэт авиа, дууны механик үйлчлэлээр уусмалд сонохими, сонолюминесценц, сонохемилюминесценц үүсэх зүй тогтлыг сонофотоэффект болгон өргөтгөн судлах боломж олгож байна.

2. Фотохимийн урвалууд

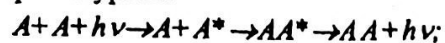
Гэрлийн үйлчлэл дор явагдах химийн урвалуудыг фотохимийн урвалууд гэнэ. Альваа фотохимийн урвалууд валентын электроноор тодорхойлогдох учраас фотохимийн үйлчлэлд атомын гадаад бүрхүүл дээр байрласан электронууд өртөнө. Шингээгдсэн энергийн тоо хэмжээ нь гэрлийн цацрагийн урсгал Φ_i гэрлийн үйлчилсэн хугацаа (t) хоёрын үржвэр ($\Phi_i \Delta t$) буюу цацрагийн тунтай пропорционал байна. Хэрэв альваа гэрлийн урсгал бодист шингээгдсэн гэрлийн энергитэй тэнцүү

$$\Phi_i \Delta t = \Phi_j \Delta t_j$$

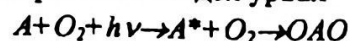
байвал тэдгээрийн фотохимийн үйлчлэл ижил байна. Энэ нь фотохимийн үндсэн хуулийн нэг болох Бунзен-Роскогийн хууль болно.

Фотохимийн урвалуудыг анхдагч ба хоёрдогч гэж ангилна. Гэрлийн анхны үйлчлэлд орсон молекул нь зэрэгцээ орших молекулыг урвалд оруулах эхлэл болдог. Үүнийг фотохимийн хоёрдогч урвал гэнэ. Эйнштейн молекулд шингээгдсэн нэг фотон зөвхөн тэр молекулыг урвалд оруулна гэснээрээ фотохимийн анхдагч урвалд орсон молекулын тоо нь шингээгдсэн фотонуудын тоотой пропорциональ болохыг харуулсан юм. Үүнд: фотонэгдэх, фотоисэлдэх, фотозадрал ба озоны үүсэх урвалын механизмууд бүгд фотоэффектийн хувилбар болно.

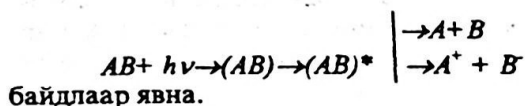
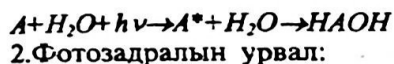
1. Фотодимержих урвал: Өдөөгдсөн атом ба молекул (A^*) нейтрал молекултай (A) нэгдэж болно. Үүнийг фотонэгдэх урвал гэнэ. Тухайлбал, фотодиамержих ба полимержих урвал



Хүчилтөрөгчтэй нэгдэх урвал



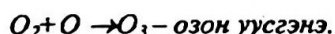
Устөрөгчийн атомтой нэгдэх урвал



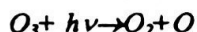
Энэ урвалын тод жишээ нь хүчилтөрөгч-озоны урвал юм. Нарны цацрагын үйлчлэлээр стратосферт хүчилтөрөгчийн молекул диссоциациагдах урвал



схемээр явах ба энд үүссэн хүчилтөрөгчийн атом урвалын идэвхи ихтэй учраас хүчилтөрөгчийн молекултай дахин урвалд орж



Озоны задрах урвал мөн гэрлийн үйлчлэлээр явна.



Энэ хоёр урвалын үр дүнд дэлхийгээс 25 км орчмын зайнд 2-3 км зузаантай озоны үе үүснэ.

Стратосфер дэх озоны үе нь нарны цацрагийн 290 нм-аас бага долгионы урттай гэрлийг бүрэн шингээх учраас манай гариг дээрх организмыг иончлогч цацаргаас хамгаалдаг байна.

3. Фотобиологийн процессууд

Фотобиологийн нэгэн томоохон чиглэл бол фотосинтезийн процесс юм. Фотосинтез нь органик бус нэгдлийн нүүрстөрөгч ба уснаас органик бодис нийлэгжих фотохимийн урвал юм. Фотосинтезийн үр дүнд гэрлийн энерги CH_2O молекулын химийн холбоосын энергийн хэлбэрээр ургамалд хуримтлагдана.

Өөрөөр хэлбэл органик ертөнц нарны энергийг ашиглан өөрийн чөлөөт энергийг нөөцлөх процесс юм. Нарны гэрлийн ультра ягаан, үзэгдэх, инфра улаан цацаргууд өөрийн өвөрмөц онцлогт харгалзах үйлчлэлийг ургамал амьтанд үзүүлнэ. Ургамлын фотосистемтэй холбоотой бүлэг ажлыг Монгол улсын их сургуулийн биофизикийн тэнхимд профессор Т.Гун-Аажавын удирдлагаар хийж байгаа болно [7,8].

Суут эрдэмтэн Альберт Эйнштейны шинжлэх ухаанд оруулсан жинтэй хувь нэмэр-нээлт 100 жил амьдрахдаа Монголын физикчдийн дунд бүтээлчээр нэвтэрч фотозффект нь фотосонозффект болж, орчин

цагийн квант биофизикийн тулгуур асуудлыг тайлбарлахад үйлчилсээр байгааг дэлхийн физикчдийн жилд тэмдэглэхэд таатай байна.

ИШЛЭЛ АВСАН ХЭВЛЭЛ

- [1] Нямаа Д., Конев С.В., Катенников М.Л. Спектрально-люминесцентное исследование рН-зависимых конформационных изменений фибриногена. Биофизика 1975, 20, 5, 380-384.
- [2] Нямаа Д., Найдан Д., Бат-Эрдэнэ О. Усиление фотохемилюминесценции сывороточного альбумина быка 1-анилин-8-нафталинсульфанатом. Тр. Инс. Физ. и Тех. АН МНР, 1979, 16, 76-79
- [3] Нямаа Д. Регуляция структурно-физических и функциональных свойств сывороточного альбумина физико-химическими факторами среды. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора биологических наук. Пушино, 1993
- [4] Найдан Д., Сапежинский И.И. О механизме сенсibiliзированной зозином фотохемилюминесценции растворов САЧ. Биофизика. 1978, т. XXIII, №1, 24-28
- [5] Найдан Д. Сенсibiliзированная фото-, и сонохемилюминесценция пептидов, белков в растворе. Автореферат дис. На соискание ученой степени доктора физ.-мат. наук. УБ. 2001
- [6] Хоролжав Р. Исследование сонохемилюминесценции воды, водных растворов аминкислот, пептидов и белка. Автореферат дисс. На ученой степени канд. Физ.-мат. наук. УБ, 1999.
- [7] Гун-Аажав Т. Исследование регуляции физико-химических процессов, происходящих в биологических системах. Автореферат дисс. На ученой степени доктора физ.-мат. наук. УБ, 1999
- [8] Гун-Аажав Т., Энхбаяр П., Нарандалай Д. Квантово-химическое исследование физико-химических характеристик у азотистых оснований нуклейного кислота. Ученые записки Монг. Гос. Ун-та., № 5, 120-132, 1997