

§ 2.3. Бағдарланған молекулалық жүйелердің жұтылу дихроизмі және люминесценциясының поляризациясы

Изотропты ерітінділердің поляризациялық спектрлері молекуладағы сәуле шығарушы және жұтушы осцилляторлардың тек өзара бағдарлануын анықтауға мүмкіндік береді. Ауысу моменттерінің абсолют бағыттары туралы ақпаратты тек молекулалардың бағдарланған жүйелеріндегі сәуле шығару мен жұтылудың поляризациялық өлшеулері бере алады. Молекулаларды бағдарланған күйге келтірудің әртүрлі тәсілдері бар. Ең көп таралған әдістер — сұйық кристалдардағы және полимерлік қабыршақтардағы бағдарлау әдістері.

Сұйық кристалдардағы бағдарлау кезінде «қонақ—қожайын» әсері деп аталатын құбылыс [21] байқалады. Бұл құбылыс магнит немесе электр өрісінің әсерінен кристалдық матрицаның, яғни қожайынның, молекулалары бағдарланып, қоспа молекулаларын, яғни қонақтарды, да бағдарлануға мәжбүрлейтіндігімен түсіндіріледі. Бұл әдіс үлгілерді дайындаудың қарапайымдылығымен және матрицаның еріген молекулалардың құрылымына әсер етпеуімен сипатталады. Мұндай жүйелердің кемшіліктеріне сұйық кристалдардың мөлдірлік аймағының тар болуы, оларды термиялық тұрақтандыру қажеттілігі, сондай-ақ молекулаларды бағдарлау үшін электр және магнит өрістерінің қажеттілігі жатады.

Бағдарлаудың тағы бір әдісі — зерттелетін заттардың молекулалары енгізілген полимерлік қабыршақтарды созу. Бұл әдіс бағдарланған жүйелерді алудың басқа белгілі әдістерімен салыстырғанда бірқатар артықшылықтарға ие. Оларға үлгілерді дайындаудың қарапайымдылығы, полимерлік материалдардың, көбінесе матрица ретінде поливинил спирті (ПВС) мен полиэтилен (ПЭ) қолданылатын материалдардың, көрінетін және жақын ультракүлгін спектр аймағындағы мөлдірлігі, кристалдық өрістің болмауына байланысты кең спектрлік мөлдірлік және қабыршаққа енгізілген молекулалардың электрондық құрылымының бұрмаланбауы, сондай-ақ бөлме температурасына дейінгі кең температура аралығында жұмыс істеу мүмкіндігі жатады. Аталған артықшылықтар мен полимерлік қабыршақтарды дайындаудың қарапайымдылығы бұл әдісті анағұрлым тартымды етеді. Ол енгізілген органикалық заттардың молекулалары бар созылған полимерлік қабыршақтарды зерттеу нәтижелері негізінде бағдарланған жүйелердің поляризациялық сипаттамаларын қарастыруға мүмкіндік береді.

Денелердің оптикалық анизотропиясы туралы ақпаратты дихроизмге және поляризацияланған люминесценцияның анизотропиясына негізделген әдістермен алуға болады [22; 23].

Бағдарланған қабыршақтардың жұтылу дихроизмі. Осцилляторлардың бағыттарын анықтау кезінде олардың созылған қабыршақта қандай бағытта орналасатыны туралы мәселе әрдайым туындайды. Полимер молекулаларының өзі созылу кезінде ұзын осьтерімен созылу бағытының бойымен бағдарланады. Егер полимерде молекулалары анизотропты зат ерітілсе, онда реттелген матрица бағдарға ие болатын қоспа молекулаларын да сәйкесінше бағдарлайды. Мұндай молекулалардың әрқайсысында белгілі бір бағытты бөліп көрсетуге болады. Бағдарлау осі деп аталатын осы бағыттың бойымен созылу жүргізіледі. Бағдарлану осі молекула созылыққы пішінді болғанда оның ұзын осімен сәйкес келетіні тәжірибе жүзінде көрсетілген. Жалпы жағдайда қабыршақтың созылу бағыты мен енгізілген молекулалардың геометриялық пішіні арасында бірімді сәйкестік болмайды.

Жұтушы орталықтардың анизотропиясы туралы ақпаратты жұтылу дихроизмі арқылы алуға болады. Көп жағдайда жұтылу дихроизмі туралы мәліметтерден жұтылу осцилляторларының бағыттары жөнінде ақпарат алуға ұмтылады. Алайда дихроизмнің өлшенетін мәні электрондық ауысу бағыты мен молекуланың бағдарлану осі арасындағы бұрышқа, сондай-ақ молекулалардың бағдарлану дәрежесіне тәуелді функция екенін ескеру керек. Молекулалардың бағыттар бойынша таралуын анықтау мәселесі күрделі және көбінесе таралудың түрі белгісіз болғандықтан, дихроизмді сипаттау кезінде бағдарланудың әртүрлі модельдері қолданылады.

Ең қарапайым модельдер — бірпараметрлі модельдер. Оларда молекулалардың бағдарлануы созылған қабыршаққа қатысты бір бұрышпен анықталады деп есептеледі. Мысалы, [25] еңбекте бағдарлану осі мен қабыршақтың созылу бағыты арасындағы θ бұрышы арқылы жазық молекулалардың бағдарлануын сипаттайтын осындай модельдердің бірі қолданылды. Бұл жағдайда дихроизмнің мәні мына формуламен анықталады:

$$d = [(3A_1 - 1)(3\cos^2\alpha - 1)] / [(3 - A_1) + (3A_1 + 1)\cos^2\alpha], \quad (2.3.1)$$

мұндағы α — бағдарлану осінің бағыты мен электрондық ауысу моментінің арасындағы бұрыш, $A_1 = \cos^2\theta$.

Екі түрлі молекула болады деп есептелетін модельдер де белгілі: толығымен бағдарланған молекулалардың f бөлігі және ретсіз таралған молекулалардың $(1 - f)$ бөлігі [26; 27]. Мұндай модель аясында дихроизмдік қатынас үшін мына өрнек алынды:

$$R_a = [f\cos^2\beta + \frac{1}{3}(1 - f)] / [\frac{1}{2}f\sin^2\beta + \frac{1}{3}(1 - f)], \quad (2.3.2)$$

мұндағы β — электрондық ауысу бағыты мен молекула жазықтығы арасындағы бұрыш [26]. [27] еңбекте β — электрондық ауысу бағыты мен молекуланың бағдарлану осі арасындағы бұрыш.

Барлық бірпараметрлі модельдер үшін дихроизм, бағдарлану дәрежесі және электрондық ауысу бағыты арасындағы байланыс жалпы жағдайда (2.3.1) түріндегі теңдеумен өрнектелуі мүмкін екенін атап өткен жөн. Барлық модельдердің айырмашылығы бағдарлану параметрі A_1 -ді анықтау тәсілінің әртүрлілігінде ғана.

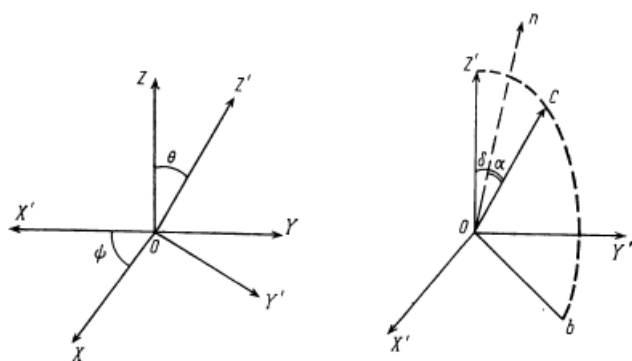
[28] еңбекте ұсынылған модельде жұтылу дихроизмін сипаттау үшін үш бағдарлану параметрі енгізіледі. Полимерге енгізілген молекулалардың таралуы үш бұрышпен сипатталады (52-сурет): θ — қабыршақтың созылу осі мен полимердің құрылымдық бірлігінің бағыты арасындағы бұрыш; α — молекуланың бағдарлану осі мен полимердің құрылымдық бірлігінің бағыты арасындағы бұрыш; δ — құрылымдық бірліктің бағыты мен молекула жазықтығы арасындағы бұрыш.

52-суреттің сол жағында зертханалық координаталар жүйесінің, яғни полимердің құрылымдық бірлігінің $x'y'z'$ координаталарының, молекуланың $x_1y_1z_1$ координаталар жүйесіне қатысты орналасуы көрсетілген. 52-суреттің оң жағында енгізілген молекуланың бағдарлану осінің зертханалық $x'y'z'$ координаталар жүйесіне қатысты орналасуы көрсетілген. Мұндай модель үшін дихроизм мына өрнекпен сипатталады:

$$d = (3A - 1) \{ [3C(1 - B) - 1] + 3C(2B - 1)\cos^2\alpha \} / \{ (3 - A) + C(3A - 1)(1 - B) + C(3A - 1)(2B - 1)\cos^2\alpha \}. \quad (2.3.3)$$

Мұндағы A , B және C — ψ , θ және δ бұрыштарының таралу функцияларының екінші моменттері болып табылатын бағдарлану параметрлері. Бұл модель осцилляторлардың бағдарлануын анағұрлым дәл анықтауға мүмкіндік береді, сондықтан бағдарланған молекулалық жүйелерді зерттеу кезінде жиі қолданылады.

Жұтылатын жарық толқынының ұзындығына d шамасының тәуелділігін пайдалану арқылы осы процеске жауапты осцилляторлардың бағдарлануын анықтауға болады. Бұл жағдайда дихроизмді сипаттайтын модельді дұрыс таңдау маңызды. Әдетте созылық пішінді молекулалар үшін бірпараметрлі модельдермен шектеледі.



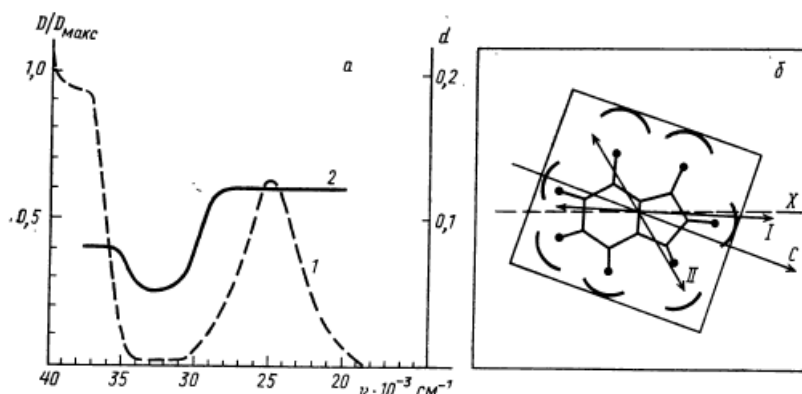
52-сурет. Полимерге енгізілген молекулалардың таралуын бейнелейтін сұлба.

Дихроизмді есептеу өрнектеріне бағыттаушы косинустардың абсолют мәндері кіретінін атап өткен жөн. Сондықтан электрондық ауысу моменттерінің нақты бағыттарын анықтау үшін бағдарлануды анықтайтын басқа әдістерді де, мысалы, кванттық-химиялық есептеулерді қолдану қажет.

Дипольдік ауысулардың бағдарлануын анықтаудың мысалы ретінде ПВС-тің созылған қабыршақтарындағы 3-аминофталимидтің жұтылу дихроизмі мәндерінің өзгеруін қарастырайық [29]. 53, а-суретте ПВС-тің созылған қабыршақтарындағы 3-аминофталимидтің жұтылу спектрінің өзгерісі (1-қисық) және дихроизмінің өзгерісі (2-қисық) көрсетілген. Дихроизм ұзынтолқынды жұтылу жолағы аймағында тұрақты болып қалатыны, ал қысқатолқынды жолаққа өткен кезде оның мәні айтарлықтай азаятыны көрінеді: ұзынтолқынды жолақ үшін $d \approx 0,12$, ал қысқатолқынды жолақ үшін $d \approx 0,08$. Сонымен бірге жеке ауысудың шегінде дихроизм тұрақты болып қалады.

3-аминофталимид молекуласындағы бағдарлану осі C ретінде молекуланың құрылымдық формуласы салынған тіктөртбұрыштың ұзын қабырғасына параллель бағыт таңдалды (53, б-сурет). Осылай таңдалған бағыт молекуланың x симметрия осімен сәйкес келеді. Ауысу моменті үшін (2.3.1) формуласы бойынша жүргізілген есептеулер ұзынтолқынды ауысу үшін $\alpha = 15^\circ$ мәнін береді. Қысқатолқынды ауысу үшін дихроизм мәні $d \approx 0,08$ болғанда $\alpha = 34^\circ$ мәні алынады.

Бұл ауысулардың бағдарлану осіне қатысты бағыттарын анықтау үшін 3-аминофталимид молекулалары енгізілген изотропты қабыршақтардың люминесценциясының поляризациялық спектрін пайдалануға болады. Левшин—Перрен формуласы (2.2.1) бірінші және екінші ауысулардың арасындағы бұрышты анықтауға мүмкіндік береді (53, б-суреттегі I және II ауысулар). Есептеу нәтижесі бұл бұрыштың 42° -қа тең екенін көрсетеді. Бұл ауысулардың бағыттары бағдарлану осінің екі жағында орналасуы тиіс (53, б-сурет).



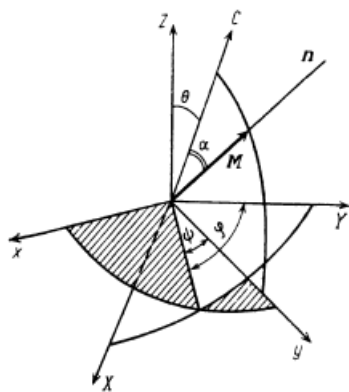
53-сурет. а) ПВС-тің созылған қабыршақтарындағы 3-аминофталимидтің жұтылу спектрі (1) және дихроизмі (2); б) 3-аминофталимидтің құрылымдық формуласы.

Қабыршақтарда бағдарланған молекулалардың жарықты жұту дихроизмі құбылысын жұтылу жолақтарын ажырату және жасырын ауысуларды анықтау үшін қолдануға болады. Бұл кезде дихроизм мен жұтылу спектрлерінің экстремумдары салыстырылады және әрбір экстремум тиісті момент бағыты бар ауысуға сәйкестендіріледі. Ұсынылған әдістің тиімділігі жасырын ауысуларды анықтау кезінде де [30; 31], әртүрлі кешендердің жұтылу спектрлерін және бояғыштардың кеңістіктік құрылымын зерттеу кезінде де расталды [32].

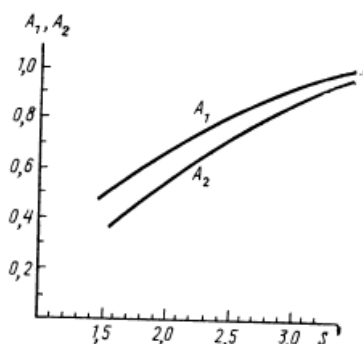
Бағдарланған жүйелер люминесценциясының поляризациясы. Жұтылу және люминесценция осцилляторларының бағдарлануы туралы ақпаратты созылған қабыршақтарға енгізілген молекулалардың люминесценциясының поляризациялық сипаттамаларынан да алуға болады. Жұтылу дихроизмі мен люминесценцияның поляризация дәрежесінің арасында сәуле шығарушы және жұтушы орталықтардың табиғатының ортақтығымен түсіндірілетін байланыс бар.

Анизотропты жүйені табиғи жарықпен қоздырған кезде сәуле шығарушы осцилляторлардың реттелуіне байланысты флуоресценцияның ішінара поляризациясы пайда болады. Бұл әсер спонтанды поляризация (Рсп) деп аталады. Спонтанды поляризация қоздырушы жарық толқынының ұзындығына іс жүзінде тәуелді болмайды. Бұл люминесценцияны спектрдің әртүрлі аймақтарында қоздырған кезде сәуле шығарушы осцилляторлардың бағыттары өзгеріссіз қалатынын көрсетеді.

Сызықтық поляризацияланған жарықпен қоздырған кезде бағдарланған жүйелер люминесценциясының анизотропиясы сәуле шығарушы орталықтың электрлік векторы бағытының жарық бағытына қатысты өзара орналасуына және молекулалардың басым бағдарлануына тәуелді болады. Бұл Д. Александровқа [33] қоздырушы жарықтың поляризациясы бағдарлану осімен сәйкес келетін $P\parallel$ немесе оған перпендикуляр болатын $P\perp$ жүйелерді қоздырудың екі әдісін ұсынуға мүмкіндік берді.



54-сурет. Полимерлік қабыршақпен (XYZ) және оған енгізілген молекуламен (xyz) байланысты координаталар жүйелері.



55-сурет. A_1 және A_2 параметрлерінің пішін факторы S -ке тәуелділігі.

Бағдарланған жүйелерді қолдану поляризация дәрежесінің өзгеру аралығын изотропты жүйелерге тән 0,5-тен $-0,33$ -ке дейінгі аралықпен салыстырғанда 1-ден -1 -ге дейін кеңейтетінін атап өткен жөн (44-сурет). Соның нәтижесінде изотропты жүйелердің поляризациялық спектрлерін зерттеу кезінде қолданылатын фотоселекция әдісінің көмегімен сәуле шығарушы осциллятордың жұтушы осцилляторға қатысты бағдарлануын ғана анықтауға болады. Ал дихроизмнің көмегімен жұтушы осцилляторлардың молекулалық осьтерге қатысты бағдарлануын анықтауға болады. Люминесценцияның поляризация дәрежесі жұтушы және сәуле шығарушы осцилляторлардың абсолют бағдарлануы туралы да, олардың өзара бағдарлануы туралы да ақпарат береді. Сондықтан жұтылу дихроизмі әдісімен бірге бағдарланған қабыршақтардың поляризацияланған люминесценциясын зерттеу электрондық ауысулардың бағдарлануын анықтауға да, анизотропты орталардағы молекулалардың орналасуын анықтауға да жаңа мүмкіндіктер ашады.

Молекулалардың бағдарлануын сипаттау үшін дихроизм жағдайындағыдай бірнеше модель қолданылады. Жалпы жағдайда поляризация дәрежесі он бес тәуелсіз параметр арқылы өрнектеледі [34]. Олардың төртеуі жұтылу және сәуле шығару осцилляторларының анизотропиясын, алтауы олардың молекулалық осьтерге қатысты бағдарлануын сипаттайды, ал бесеуі молекулалардың бағдарлануын сипаттайды.

Қарапайым жағдайда молекулалық координаталар жүйесінің осьтері параллель болатын бірпараметрлі модель қолданылады. Мұндай модель үшін молекулалардың бағдарлануын анықтайтын параметрлер саны екіге тең. Осы модельді қарастырайық [35; 36]. 54-суретте

XYZ қабыршақ жазықтығымен және хуz оған енгізілген молекуламен байланысты координаталар жүйелері көрсетілген. С — бағдарлану осі. Бұл екі жүйе өзара Эйлердің θ , φ және ψ бұрыштары арқылы байланысқан. Модельді қарастыру кезінде мынадай болжамдар жасалады: 1) енгізілген молекулалардың бағдары бір θ бұрышымен сипатталады; 2) жұтылу мен люминесценцияның ауысу моменттері 54-суретте М осцилляторына сәйкес келетін бағытта орналасады; 3) молекулалардың жұтылуы мен сәуле шығаруы n осімен сәйкес келеді.

Сонда параллель ($P\parallel$) және перпендикуляр ($P\perp$) қоздыру кезіндегі сәуле шығарудың поляризация дәрежелері үшін мына қатынастарды алуға болады [36]:

$$P\parallel = [(5 - 14A_1 + 9A_2) - 2\cos^2\alpha(7 - 48A_1 + 45A_2) + 3\cos^4\alpha(3 - 30A_1 + 35A_2)] / [(7 - 10A_1 + 3A_2) - 2\cos^2\alpha(5 - 24A_1 + 15A_2) + \cos^4\alpha(3 - 30A_1 + 35A_2)]. \quad (2.3.5)$$

$$P\perp = [(5 - 2A_1 + 21A_2) + 2\cos^2\alpha(1 + 66A_1 - 105A_2) + 7\cos^4\alpha(3 - 30A_1 + 35A_2)] / [(13 + 14A_1 - 3A_2) + 2\cos^2\alpha(7 - 30A_1 + 15A_2) + \cos^4\alpha(3 - 30A_1 + 35A_2)]. \quad (2.3.6)$$

Мұндағы A_1 және A_2 қабыршақтағы молекулалардың реттелу дәрежесін сипаттайды және бағдарлану параметрлері деп аталады. Олар мына формулалар арқылы анықталады:

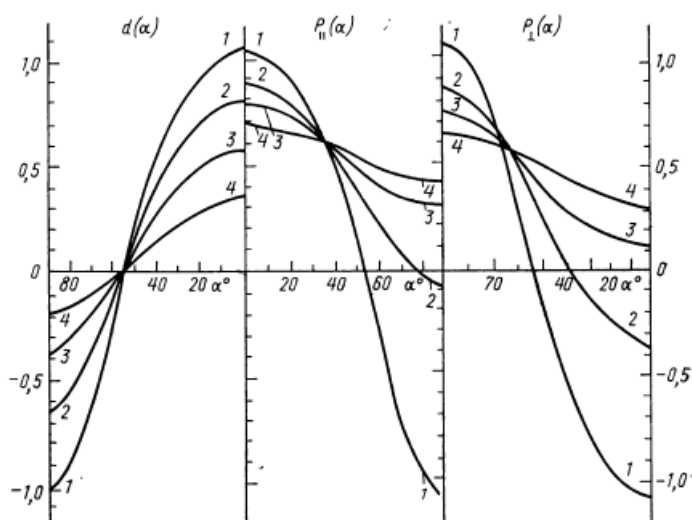
$$A_1 = \cos^2\theta = \int_0\pi f(\theta)\cos^2\theta \sin\theta \, d\theta, \quad (2.3.7)$$

$$A_2 = \cos^4\theta = \int_0\pi f(\theta)\cos^4\theta \sin\theta \, d\theta, \quad (2.3.8)$$

мұндағы $f(\theta)$ — енгізілген молекулалардың С осьтерінің θ бұрышы бойынша таралуының нормаланған функциясы. Молекулалар толық реттелген жағдайда $A_1 = A_2 = 1$. Ретсіз таралу кезінде $A_1 = 1/3$, $A_2 = 1/5$.

Бұл бағдарлану параметрлері пішін факторына S, яғни молекуланың геометриялық өлшемдеріне тәуелді. 55-суретте A_1 және A_2 шамаларының S шамасына тәуелділіктері көрсетілген. Осы деректер бойынша табылған S пішін факторы арқылы A_1 және A_2 бағдарлану параметрлерін анықтауға болады. Содан кейін (2.3.1), (2.3.5) және (2.3.6) өрнектерінің көмегімен өлшенген жұтылу дихроизмі мен сәуле шығару поляризациясының мәндерін пайдалана отырып, жұтылу және люминесценция осцилляторларының бағдарлануын анықтауға болады.

56-суретте бағдарланудың әртүрлі дәрежелері, яғни A_1 және A_2 шамаларының әртүрлі мәндері үшін d, $P\parallel$ және $P\perp$ шамаларының α бұрышына есептелген теориялық тәуелділіктері көрсетілген.



56-сурет. Бағдарланудың әртүрлі дәрежелері үшін d , $P_{||}$ және $P_{\perp}$ шамаларының α бұрышына теориялық тәуелділіктері: $A_1 = 1,0$, $A_2 = 1,0$ (1); $A_1 = 0,8$, $A_2 = 0,68$ (2); $A_1 = 0,62$, $A_2 = 0,48$ (3); $A_1 = 0,5$, $A_2 = 0,35$ (4).

Бұл тәуелділіктерден молекулалардың реттелуі аз болған кезде поляризация дәрежесінің әрқашан оң болатыны (56-суреттегі 3 және 4-қисықтар), ал дихроизмнің $\alpha \approx 55^\circ$ кезінде таңбасын өзгертетіні көрінеді. Мұндай айырмашылық сызықтық поляризацияланған жарықпен қоздырған кезде молекулалардың ішінара реттелуіне байланысты олардың қоздырушы жарыққа қатысты таңдамалылығы арта түсетінімен түсіндіріледі. «Қос селекция» деп аталатын құбылыс орын алады.

Молекулалық жүйенің реттелу дәрежесі артқан кезде $d(\alpha)$ және $P_{||}(\alpha)$ қисықтары бір-біріне жақындайды. Толық бағдарлану жағдайында $A_1 = A_2 = 1$ болғанда $P_{||}(\alpha)$ және $d(\alpha)$ қисықтарының жүрісі бірдей болады. $P_{\perp}(\alpha)$ тәуелділігінің қисығы $P_{||}(\alpha)$ тәуелділігінің қисығына қарама-қарсы бағытта өзгереді.

56-суретте келтірілген мәліметтер бағдарланған жүйелерді поляризациялық әдіспен зерттеудің дихроизмді өлшеумен салыстырғандағы артықшылығын көрсетеді. Шынында да, $\alpha \approx 0^\circ$ болғанда люминесценцияның поляризация дәрежесі дихроизм мәнінен едәуір жоғары болады. Молекуланың бағдарлану дәрежесі неғұрлым төмен болса, бұл айырмашылық соғұрлым үлкен болады. Осылайша, бағдарлану дәрежесі аз және поляризация бұрыштарының мәндері кіші болатын нақты молекулалық жүйелер үшін люминесценцияның поляризациясы анағұрлым сезімтал зерттеу әдісі болып табылады.

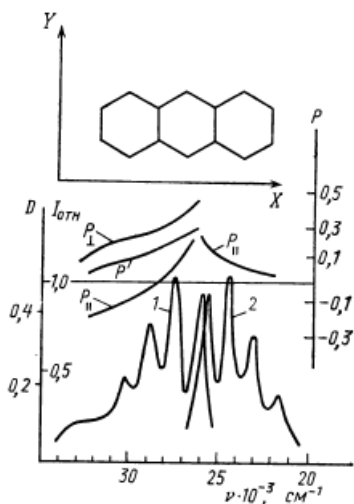
d өрнегінде (2.3.1) бір A_1 параметрінің белгісіз мәні болатынын, ал $P_{||}$ және $P_{\perp}$ үшін (2.3.5) және (2.3.6) теңдеулерінің әрқайсысында екі белгісіз шама болатынын атап өткен жөн. Егер (2.3.1), (2.3.5) және (2.3.6) теңдеулер жүйесін қарастырсақ, онда бұл үш теңдеуден тұратын жүйеде үш белгісіз шама болатыны және сондықтан оның шешілетіні анық.

Жұтылу дихроизмі мен люминесценция поляризациясын бірлесіп қолданудың мысалы ретінде антрацен молекулаларындағы электрондық ауысулардың бағдарлануын анықтауға арналған зерттеу нәтижелерін қарастырайық [36; 37].

Жұтылу спектрінің теориясына сәйкес антраценнің алғашқы үш электрондық күйі ^1L_a , ^1L_b және ^1B_b деп белгіленуі тиіс. Бұл ретте ^1L_a күйіне ауысу молекуланың қысқа осі бойымен, яғни 57-суреттегі y осі бойымен, ал ^1B_b күйіне ауысу ұзын осьтің, яғни x осінің бойымен

поляризацияланған. Кванттық-химиялық есептеулерге сәйкес ${}^1L_\beta$ күйіне ауысу да ұзын осьтің бойымен поляризациялануы тиіс, бірақ ол ${}^1L_a$ күйіне өтетін интенсивті ауысу жолағымен жасырылған.

Бұл жасырын ауысуды анықтау үшін молекулалардың қабыршақта бағдарлануы оларды созу арқылы жүзеге асырылатын белгілі бір құрамдағы ерітінділерді зерттеу қажет. 57-суретте антраценнің созылмаған (P) және созылған ПВС қабыршақтарындағы параллель (P||) және перпендикуляр (P⊥) поляризациялық спектрлері көрсетілген.



57-сурет. Антраценнің созылмаған (P) және созылған (P|| және P⊥) ПВС қабыршақтарындағы жұтылу спектрлері (1), люминесценция спектрлері (2) және поляризациялық спектрлері.

Созылмаған қабыршақтағы антрацен люминесценциясының поляризация дәрежесі алдымен 0–0 ауысуы аймағында ең үлкен мәнге ие болады, содан кейін ν артқан сайын кемиді. Перпендикуляр қоздыру кезінде бағдарланған қабыршақтағы P⊥(ν қозд) шамасы ν жиілігіне байланысты созылмаған қабыршақтағы P(ν қозд) шамасы сияқты өзгереді.

Параллель қоздыру кезінде алынған поляризациялық спектр P(ν қозд) және P⊥(ν қозд) спектрлерінен едәуір ерекшеленеді. Қоздыру жиілігі азайған сайын сәуле шығарудың поляризация дәрежесі күрт төмендейді, содан кейін теріс мәндер аймағына өтеді. Бұл қысқатолқынды жұтылу жолағында ${}^1L_\beta$ күйіне жасырын ауысудың P||(ν қозд) поляризациялық спектріне әсері байқалатынын көрсетеді. Сонымен бірге P|| поляризациялық спектрінің спектрлік жүрісі d дихроизмінің спектрлік жүрісімен жақсы сәйкес келеді [37].

Қорытындылай келе, бағдарланған жүйелер люминесценциясының анизотропиясы электрондық ауысуларды зерттеу үшін ғана емес, молекулалық жүйелердің құрылымы мен анизотропия дәрежесін зерттеу үшін де мүмкіндіктер ашатынын атап өткен жөн.