

Дәріс атауы: Жерді қашықтан зондтаудың физикалық негіздері

Мақсаты:

Бұл дәрістің мақсаты – студенттерге электромагниттік энергияның таралу заңдылықтарын, сәулелену мен жұтылу процестерін және олардың қашықтан зондтаудағы маңызын түсіндіру. Сонымен қатар, қара дене ұғымы, сәулелену заңдары және атмосфера мен жер бетінің өзара әсерін қарастыру арқылы ЖҚЗ-дың физикалық негіздерін қалыптастыру.

Негізгі сұрақтар:

1. Электромагниттік энергияның таралуы қандай заңдарға бағынады?
2. Жарықтың корпускулалық және толқындық қасиеттері неден байқалады?
3. Қара дене және оның сәулелену заңдары қандай?
4. Стефан–Больцман және Вин заңдарының физикалық мәні неде?
5. Атмосфераның мөлдірлік терезелері дегеніміз не?
6. Белсенді және пассивті түсірілім жүйелерінің айырмашылығы.
7. Атмосфераның сәулеленуді жұту және шашырату қасиеттері қандай?

Қысқаша тезис:

Электромагниттік энергияның таралуы белгілі бір физикалық заңдарға бағынады. Қысқалық мүддесі үшін бұл заңдардың кейбірі қысқартылған түрде баяндалған, өйткені біз студентке толық дереккөздерде қолжетімді формальды қорытындыларға емес, олардың білдіретін негізгі қатынастарына қызығушылық танытамыз.

Исаак Ньютон алғашқылардың бірі болып жарықтың (демек, электромагниттік сәулеленудің барлық түрлерінің) қосарлы табиғатын мойындады, ол бір уақытта дискретті және үздіксіз құбылыстармен байланысты мінез-құлықтарды көрсетеді. Ньютон жарық түзу сызықтар бойымен қозғалатын ең кішкентай бөлшектердің ("корпускулалар") ағыны деп тұжырымдады. Бұл ұғым Макс Планк (1858-1947) мен Альберт Эйнштейннің қазіргі теорияларына сәйкес келеді. (1879–1955). Планк электромагниттік энергияның кванттар немесе фотондар деп аталатын дискретті бірліктерде жұтылатынын және сәулеленетінін ашты. Әрбір элементтің мөлшері энергияның сәулелену жиілігіне тура пропорционал. Планк жиілікті (ν) сәулеленетін энергиямен (Q) байланыстыру үшін тұрақтыны (h) анықтады.:

$$Q = h\nu$$

Оның моделі фотоэлектрлік эффектін, белгілі бір заттарға жарық түскен кезде электр тоғының пайда болуын, осы дискретті энергия бірліктерінің (кванттардың) белгілі бір металдардың бетіне әсер етіп, электрондардың шығуын тудыратын әсерін түсіндіреді.

Ньютон жарықтың призмалар арқылы сынуы сияқты басқа құбылыстар туралы білген, бұл электромагниттік энергия толқын тәрізді таралады деген болжаммен жақсы түсіндіріледі.

Джеймс Клерк Максвелл бірінші болып электромагниттік сәулеленудің толқындық моделін формальды түрде анықтады. Оның электромагниттік энергияның жүріс-тұрысының математикалық анықтамалары классикалық (механикалық) физикадан жарық және электромагниттік энергияның басқа түрлері толқындар қатары ретінде таралады деген

болжамға негізделген. Толқындық модель электромагниттік энергияның бақыланатын әрекетінің кейбір аспектілерін (мысалы, линзалар мен призмалар арқылы сыну және дифракция) жақсы түсіндіреді, ал кванттық теория басқа құбылыстарға түсініктеме береді. (notably, the photoelectric effect).

Фотондардың (кванттардың) бетке соғу жылдамдығы жарық ағыны деп аталады (Φ_e), ваттпен (Вт) өлшенеді; бұл өлшем уақыт бірлігінде жер бетіне жеткізілетін энергия мөлшерін көрсетеді. Сондай-ақ аудан бірлігін көрсетуіміз керек; сәулелену (E_e) аудан бірлігіне келетін сәулелік ағын ретінде анықталады. (usually measured as watts per square meter). Сәулелену жер бетіне түсетін сәулеленуді өлшейді, ал термин сәулелі шығу (M_e) аудан бірлігінен сәулеленудің сәулелену жылдамдығын анықтайды. (also measured in watts per square meter).

Температурасы абсолюттік нөлден жоғары барлық объектілердің температурасы болады және энергияны сәулелендіреді. Энергия мөлшері мен оның сәулеленетін толқын ұзындығы объектінің температурасына байланысты. Нысанның температурасы көтерілген сайын шығарылатын энергияның жалпы мөлшері де артады және максималды (ең жоғары) сәулеленудің толқын ұзындығы қысқарады.

Бұл қатынастарды формальды түрде қара дене тұжырымдамасы арқылы білдіруге болады. Қара дене — бұл идеалдандырылған түрде әрекет ететін гипотетикалық энергия көзі. Ол барлық түскен сәулелерді сіңіреді; ештеңе шағылыспайды. Қара дене энергияны идеалды тиімділікпен шығарады; оның энергия радиаторы ретіндегі тиімділігі температураның өзгеруіне байланысты ғана өзгереді.

Қара дене гипотетикалық объект болып табылады, өйткені табиғатта барлық объектілер оларға түсетін сәулеленудің кем дегенде аз ғана бөлігін көрсетеді және осылайша идеал ретінде әрекет етпейді қайта өңдеушілер сіңірілген энергия. Шынында да мінсіз қара денелер өмір сүре алмаса да, олардың мінез-құлқын зертханалық құралдардың көмегімен жуықтауға болады. Мұндай құралдар объектілердің температурасы мен олар шығаратын сәуле арасындағы байланысты анықтайтын ғылыми зерттеулерге негіз болды. Кирхгоф заңы сәулеленетін сәулеленудің жұтылған сәулеленуге қатынасы бірдей температурадағы барлық қара денелер үшін бірдей екенін айтады. Бұл заң эмиссиялық қабілеттілікті (ϵ), берілген объектінің эмиссиясы (M) мен қара дененің бірдей температурадағы эмиссиясы арасындағы қатынасты (ϵ) анықтауға негіз болып табылады. M_b):

$$\mu = M/M_b$$

Эмиссивтілік нағыз қара дененің 1-ге тең, ал идеалды шағылыстырғышта (ақ денеде) ол 0-ге тең. Қара денелер мен ақ денелер - бұл жасанды жағдайларда зертханада жуықталған гипотетикалық түсініктер. Табиғатта барлық объектілердің эмиссиялық қабілеттері бар, олар осы шектердің арасында болады. Бұл объектілер үшін эмиссиялық қабілеттілік олардың электромагниттік энергия эмитенттері ретіндегі тиімділігінің пайдалы өлшемі болып табылады. Түскен радиацияның жоғары үлесін сіңіріп, содан кейін сол энергияны қайта шығаруға бейім объектілердің эмиссиялық қабілеті жоғары болады. Энергия сіңіргіштер мен эмитенттер ретінде тиімділігі төмендердің эмиссиялық қабілеті төмен. Стефан–Больцман заңы жалпы сәулеленудің (Вт) (көбінесе $\text{ватт} \cdot \text{см}^{-2}$ -мен өрнектелетін) арасындағы байланысты анықтайды⁻²) және температура (T) (абсолюттік температура, К):

$$W = \sigma T^4$$

Қара денеден шығатын жалпы сәуле оның абсолюттік температурасының төртінші қуатына пропорционал. Тұрақты (σ) – Стефан-Больцман тұрақтысы ($5,6697 \times 10^{-8}$) ($\text{ватт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-4}$), ол бірлік уақыт пен бірлік ауданды анықтайды. Негізінде, Стефан–Больцман заңы ыстық қара денелер суық қара денелерге қарағанда аудан бірлігіне көбірек энергия бөлетінін айтады.

Виннің орын ауыстыру заңы сәулеленудің толқын ұзындығы мен қара дененің температурасы арасындағы байланысты анықтайды:

$$\lambda = 2,897.8/T$$

Аэроғарыштық түсірілімдер электромагниттік толқындардың көрінетін және көрінбейтін диапазонында орындалады, мұнда:

1. фотографиялық – көрінетін диапазон;
2. фотографиялық емес – көрінетін және көрінбейтін диапазондар, қайда:

- көрінетін диапазон – спектрометриялық геологиялық объектілердің спектрлік шағылысу коэффициенттерінің айырмашылығына негізделген. Нәтижелер магниттік таспаға жазылады және картада белгіленеді. Кино- және фотокамераларды пайдалануға болады;

- көрінбейтін диапазон: радиолокациялық (радиотермиялық РТ және радиолокациялық РЛ), ультракүлгін ультракүлгін, инфрақызыл инфрақызыл, оптикалық-электронды (сканер), лазерлік (лидар).

Көрінетін және жақын инфрақызыл аймақ.

Ақпараттың ең толық көлемі ең игерілген көлемде алынады көрінетін және жақын инфрақызыл аймақтар. Аэро және ғарыштық түсірілімдер толқын ұзындығының көрінетін және жақын инфрақызыл диапазонында келесі жүйелердің көмегімен жүзеге асырылады:

- Телевизиялық,
- фотографиялық,
- оптикалық-электрондық сканерлеуші,

Аэро- және ғарыштық түсірілім электромагниттік толқындардың көрінетін және жақын инфрақызыл диапазонында келесі сандық сипаттамалар жазылады:

1. электромагниттік сәулелену өрістері,
2. Жер бетінен шағылысқан күн радиациясының,
3. "жер беті — атмосфера" жүйесінің меншікті жылу сәулеленуі.

Осы диапазондағы өлшемдердің кемшіліктеріне мыналар жатады нәтижелердің кедергілерге тәуелділігі (атмосфералық тұман, гидрометеорлар және т.б.) және жер беті Күн сәулесімен жарықтандырылған жағдайда ғана суретке түсіру мүмкіндігі.

Телевизиялық жүйелер болады:

- сканерлік – кескінді сызық бойымен сыпыру электронды түрде жүзеге асырылады,

- кадрлық үлгідегі – кескінді сызық бойымен сыпыру тасымалдағышты жылжыту арқылы жүзеге асырылады.

Өте кең таралған көп аймақтық тар спектрлік диапазондарда орындалатын суретке түсіру.

Спектрлік диапазонтүсірілімдер рефлексивті және ескереді сәулелі суреттерде бейнеленетін объектілердің сипаттамалары. Мұнда суреттердің үш негізгі тобы ажыратылады:

- 1) жарықта (көрінетін, жақын және орта инфрақызыл диапазонда);
- 2) жылулық инфрақызыл диапазонда;

3) радиодиапазонда орналастырылады.

Жарық (көрінетін, жақын және орта инфрақызыл диапазон). Түсіру технологиясы бойынша жарық диапазонындағы суреттер келесіге бөлінеді:

- фотографиялық,
- сканерлер, олар өз кезегінде оптикалық-механикалық (сканерлік суреттер) және оптикалық-электронды (ПЗС-суреттер) сканерлеу арқылы сызықтық ПЗС-сәулелену қабылдағыштарын қолдану арқылы алынған болып бөлінеді

Түсірілім кезінде жарықтандыру болады:

1. Белсенді,
2. Пассивті.

Белсенді – шағылысқан жасанды сәулеленуден түсірілген суреттер, арнайы жасалған жасанды жарықтандыру астында орындалады.

Пассивті – табиғи күн сәулесі, шағылысқан күн сәулесінен немесе Жердің өз радиациясынан түсірілген суреттер. Жерге жеткен күн радиациясы ішінара жер бетінен шағылысады, ал ішінара жұтылып, шашырайды. Жерден шағылысқан және сәулеленетін радиация толқындық және корпускулалық сипатқа ие – электромагниттік тербелістер спектрі.

Адам толқын ұзындығын 0,4-тен 0,7 мкм-ге дейін көреді (спектрдің көрінетін аймағы). Адам сәулелерді көрмейді:

- 0,4 мкм–ден аз - ультракүлгін;
- 0,7 мкм–ден астам (3 мкм-ге дейін) - инфрақызылға жақын (ИК).

Спектрдің толқын ұзындығының ұзын бөлігі (Жердің меншікті сәулеленуі басым болатын жерде) радио диапазондарға бөлінеді:

- *инфрақызыл жылу* диапазон - толқын ұзындығы 3–тен 1000 мкм-ге дейін - бұл жарық энергиясын жылу энергиясына айналдыру нәтижесінде жинақталған жылу түріндегі жер бетінің сәулеленуі.

- *радиодиапазон* – 1 мм-ден астам толқын ұзындығын қамтиды. Бұл диапазонда Жердің өз радиациясы ғана емес, сонымен қатар жасанды көзден пайда болатын сәуле де тіркеледі

Атмосфераның спектр бойынша мөлдірлігі бірдей емес. Спектрдің кейбір учаскелерінің сәулеленуі ("мөлдірлік терезелері") – атмосфера арқылы кедергісіз өтеді; басқа учаскелер – шашырайды (шағылысады) немесе онымен жұтылады.

Атмосферада шашырау (шағылысу). Шашырау орын алады молекулалар мен аэрозольдерде, сондай-ақ өндірістегі шаңнан немесе техникалық тұздан. "Тұман" пайда болады – объект пен камера арасындағы атмосфера қабатының жарқырауы. Бұл суреттегі контрасттың төмендеуіне әкеледі (әсіресе Күн аз болған кезде). Дисперсия объектінің шынайы шағылысу қасиеттерін бұрмалайтын қосымша жарықтылықты тудырады. Күлгін және көк жарық ең көп шашырайды.

Атмосфераның сәулеленуді сіңіруі мыналарға байланысты:

- су буының сіңірілуі,
- көмірқышқыл газымен,
- озонмен.

Жер бетінің сәулеленуі – аудан бірлігіне келетін жарық энергиясының мөлшері. Ол тікелей және шашыраңқы күн радиациясынан тұрады, ол суретте әр түрлі болуы мүмкін 4-6 байланысты рет кімнен: биіктіктер Күннің, беткейлердің тіктігі, беткейлердің бағдары. Сондықтан түсірілім Күннің әр түрлі биіктігінде қолданылады:

- таңертең – далалар мен шөлдер жойылады;
- түсте – қоныстанған аумақтарды алып тастайды;
- күннің орташа биіктігінде – таулар жойылады.

Бұлттылық жарықтандыруға да әсер етеді:

- кумулус бұлттары – жарықтандыруды азайтады 2-4 рет;
- орта деңгейдегі бұлттар – жарықтандыруды 30%-ға азайтады%;

- жоғарғы деңгейдегі бұлттар – жалпы жарықтандыруды арттырады

Бақылау сұрақтары:

1. Электромагниттік энергияның корпускулалық және толқындық қасиеттерін сипаттаңыз.
2. Қара дене дегеніміз не және ол неге идеалдандырылған модель?
3. Стефан–Больцман және Вин заңдарын жазыңыз және олардың физикалық мәнін түсіндіріңіз.
4. Белсенді және пассивті түсірілімнің айырмашылығын атаңыз.
5. Атмосфераның мөлдірлік терезелері нені білдіреді?
6. Электромагниттік диапазондардың негізгі түрлерін атаңыз.
7. Аэроғарыштық түсірілімдер қай диапазондарда орындалады?
8. Бұлттылық пен жарықтандыру деректер сапасына қалай әсер етеді?

Ұсынылатын әдебиеттер тізімі:

1. Jensen, J. R. (2007). Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective (2nd ed.). Prentice Hall.
2. Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., & Chipman, J. W. (2004). Remote Sensing and Image Interpretation (5th ed.). John Wiley & Sons.
3. Richards, J. A. (2013). Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction. Springer.
4. Patel, N., & Jones, A. (2023). Geospatial data analytics. In Geospatial Data Analytics and Computation (pp. 453-478). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823457-0.00023-9>
5. Szantoi, Z. (2013, October). Review of the use of remotely-sensed data for monitoring biodiversity change and tracking progress towards the Aichi biodiversity targets.
6. Sentinel website: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/home>.
7. Copernicus website: <https://www.copernicus.eu/en>.