

**SPEKTROFOTOMETR: ANALITIK KIMYO, FARMATSEVTIKA VA
TIBBIYOTDAGI AHAMIYATI, FUNDAMENTAL PRINSIPLARI VA
KELAJAKDAGI INNOVATSION ISTIQBOLLARI**

Raxmatov Shokirjon Botirovich

Buxoro davlat tibbiyot instituti Tibbiy kimyo kafedrası assistenti

Shodmonov Javohir Sheraliyevich

Buxoro davlat tibbiyot instituti Biotibbiyot fakulteti farmatsiya yo‘nalishi 2-kurs talabasi

javoxir134777@gmail.com

Abstrakt

Ushbu maqola yorug'likning yutilishiga asoslangan ilg'or analitik usul – spektrofotometriyaning nazariy asoslari, ishlash tamoyillari va uning analitik kimyo, farmatsevtika sanoati hamda tibbiy diagnostikadagi beqiyos ahamiyatini batafsil yoritib beradi. Maqolada elektromagnit nurlanish va modda o'rtasidagi o'zaro ta'sir, Beer-Lambert-Buger (Beer-Lambert-Bouguer) qonuniyatlari, dori preparatlarining tozaligini tekshirish mexanizmlari hamda oqsillar va biokimyoviy moddalar konsentratsiyasini aniqlash kabi jarayonlar tahlil qilingan. Shuningdek, fotometrik analiz usullari va apparatlarining kelajakdagi taraqqiyoti, xususan, sun'iy intellekt (Artificial Intelligence) bilan integratsiyalashuvi, miniatyurizatsiya jarayonlari hamda yuqori texnologiyali klinik uskunalar (mrt apparatlari, o'pkani sun'iy shamollatish uskunalari va neonatal inkubatorlar) tarkibiga noinvaziv datchik sifatida kiritilishi kabi qator innovatsion takliflar ilgari surilgan.

Abstract

This article provides an in-depth analysis of spectrophotometry, an advanced analytical technique based on light absorption, covering its theoretical foundations, operating principles, and its indispensable role in analytical chemistry, the pharmaceutical industry, and clinical diagnostics. The study examines the interaction between electromagnetic radiation and matter, the Beer-Lambert-Bouguer laws, mechanisms for assessing drug purity, and the determination of protein and biochemical concentrations. Furthermore, the article proposes innovative future perspectives for photometric methods and devices, including their integration with Artificial Intelligence (AI), miniaturization processes, and their potential as non-invasive sensors within high-tech medical equipment such as MRI machines, ventilators, and neonatal incubators.

Аннотация

В данной статье представлен подробный анализ спектрофотометрии — современного аналитического метода, основанного на поглощении света, включая его

теоретические основы, принципы работы и неоценимое значение в аналитической химии, фармацевтической промышленности и медицинской диагностике. В работе рассматриваются взаимодействие электромагнитного излучения с веществом, законы Бугера-Ламберта-Бера, механизмы проверки чистоты лекарственных средств, а также процессы определения концентрации белков и биохимических веществ. Кроме того, выдвигаются инновационные предложения по дальнейшему развитию фотометрических методов и приборов, в частности, их интеграция с искусственным интеллектом (ИИ), процессы миниатюризации и их внедрение в качестве неинвазивных датчиков в высокотехнологичное медицинское оборудование, такое как аппараты МРТ, аппараты ИВЛ и неонатальные инкубаторы.

Kalit so'zlar

Spektrofotometriya (Spectrophotometry), UV-Vis analiz (UV-Vis analysis), Beer-Lambert qonuni (Beer-Lambert law), Klinik diagnostika (Clinical diagnostics), Farmatsevtik tahlil (Pharmaceutical analysis), Analitik kimyo (Analytical chemistry), Fotometrik metodlar (Photometric methods), Kemometrika (Chemometrics).

Keywords

Spectrophotometry, UV-Vis analysis, Beer-Lambert law, Clinical diagnostics, Pharmaceutical analysis, Analytical chemistry, Photometric methods, Chemometrics.

Ключевые слова

Спектрофотометрия, УФ-видимый анализ, закон Бугера-Ламберта-Бера, клиническая диагностика, фармацевтический анализ, аналитическая химия, фотометрические методы, хемотрика.

Kirish

Zamonaviy ilm-fan va ishlab chiqarishni aniq o'lchovlarsiz tasavvur qilib bo'lmaydi. Moddalarning tarkibi, miqdori va sifatini aniqlashda ko'plab usullar mavjud bo'lib, ular orasida instrumental tahlil usullari alohida o'rin tutadi. Spektrofotometriya — bu moddaning elektromagnit nurlanishni (asosan ultrabinafsha (UV), ko'rinuvchi (Vis) va infraqizil (IR) spektrlarda) qanday yutishini o'lchash orqali uning miqdoriy va sifat xususiyatlarini aniqlashga xizmat qiluvchi kuchli fizik-kimyoviy usuldir.

Ushbu usulning tarixi yorug'likning sinishi va tarqalish qonuniyatlari o'rganilgan davrlarga borib taqalsa-da, bugungi kunda u eng yuqori texnologik darajaga ko'tarilgan. Xususan, Oliy ta'lim muassasalarida va fundamental ilmiy tadqiqotlarda fotometrik metodlar moddalarning molekulyar strukturasi o'rganishda tayanch nuqta hisoblanadi. UV-Vis spektrofotometriyasi nafaqat qimmatli ma'lumotlarni tezkor va aniq taqdim etishi, balki o'rganilayotgan namunani parchalab yubormasligi (non-destructive analysis) bilan ham ajralib turadi. Bu esa uni klinik

biokimyoy, atrof-muhitni muhofaza qilish, sanoat sifat nazorati va, eng asosiysi, tibbiyot va farmatsevtika sohalarida bebaho vositaga aylantiradi. Ushbu maqolada spektrofotometrning ishlash mexanizmlari va turli yo'nalishlardagi amaliy tatbig'i chuqur tahlil qilinadi.

Spektrofotometriyaning asosiy tamoyillari va nazariy asoslari

Spektrofotometrik tahlilning negizida yorug'lik va modda molekulari o'rtasidagi kvant mexanik o'zaro ta'sir yotadi. Atomlar va molekularlar faqat o'zlarining energetik holatlariga mos keladigan ma'lum bir to'lqin uzunligidagi (wavelength) yorug'lik kvantlarini (fotonlarni) yuta oladi. Yorug'lik yutilganda, molekuladagi elektronlar asosiy holatdan (ground state) qo'zg'algan holatga (excited state) o'tadi. Har bir modda o'ziga xos yutilish spektriga (absorption spectrum) ega bo'lib, bu uning "kimyoviy barmoq izi" hisoblanadi.

Beer-Lambert-Buger qonuni

Miqdoriy analizning fundamental asosi Beer-Lambert qonunidir. Ushbu qonun yorug'likning yutilishi (Absorbance - A), yutuvchi moddaning konsentratsiyasi (c) va yorug'lik o'tadigan optik yo'l uzunligi (l , odatda kyuveta qalinligi) o'rtasidagi to'g'ri proporsional bog'liqlikni ifodalaydi:

$$A = \epsilon \cdot l \cdot c$$

Bu yerda:

A – optik zichlik yoki yutilish (Absorbance).

ϵ (epsilon) – molyar yutilish koeffitsiyenti (molar absorptivity), ma'lum bir to'lqin uzunligida berilgan modda uchun doimiydir.

l – optik yo'l uzunligi (sm).

c – eritmadagi modda konsentratsiyasi (mol/L).

Apparatning tuzilishi

Standart UV-Vis spektrofotometr quyidagi asosiy qismlardan tashkil topadi:

Yorug'lik manbai: Ko'rinuvchi soha uchun volfram yoki galogen lampalar, ultrabinafsha soha uchun esa deyteriy lampalari ishlatiladi.

Monoxromator: Polixromatik yorug'likdan aniq bir to'lqin uzunligiga ega bo'lgan monoxromatik nurni ajratib beruvchi prizma yoki difraksion panjara.

Kyuveta bo'limi: O'rganilayotgan eritma quyiladigan maxsus idish (kvarts yoki shishadan yasaladi).

Detektor: Namunadan o'tgan yorug'lik intensivligini qayd etuvchi fotoelektron ko'paytirgichlar (PMT) yoki fotodiodlar.

Axborotni qayta ishlash tizimi: Olingan signallarni raqamsal formatga o'tkazib, spektral grafiklarni chizib beruvchi kompyuter dasturlari.

Analitik kimyoda spektrofotometriyaning qo'llanilishi

Analitik kimyoda miqdoriy va sifat tahlilini amalga oshirishda fotometrik usullar yetakchi o'rinni egallaydi. Kislota-asos nazariyalari doirasida turli reaksiyalarni o'rganishda ushbu apparat ajralmasdir.

Kislota-asos va bufer tizimlarini tahlil qilish:

Bufer eritmalar (buffer solutions) va pH ko'rsatkichlarini fotometrik usulda aniqlash yuqori aniqlikni ta'minlaydi. An'anaviy potentsiometrik pH-metrlar bilan bir qatorda, maxsus indikatorlar yordamida eritma rangining intensivligini o'lchash orqali pH ni mikrodarajada aniqlash mumkin. Indikator molekullari kislotali (protonlangan) va asosli (deprotonlangan) shakllarda turlicha to'lqin uzunliklarini yutadi. Spektrofotometr yordamida ikkala shaklning konsentratsiyalar nisbatini o'lchab, Xenderson-Xasselbalx tenglamasi orqali pH juda aniq hisoblab chiqiladi.

Kompleksonometrik va fotometrik titrlash:

Laboratoriya sharoitida titrlash usullari keng qo'llaniladi. Titrlash jarayonida ekvivalent nuqtasini aniqlash ba'zan inson ko'zi uchun qiyin kechishi mumkin. Fotometrik titrlashda esa spektrofotometr yordamida reaktiv qo'shilishi bilan yutilishning o'zgarishi qayd etib boriladi va ekvivalent nuqtasi grafik asosida (kesishish nuqtasi orqali) xatosiz topiladi. Bu ayniqsa murakkab kimyoviy nazariyalar asosida kationlarni kompleks birikmalar holatida aniqlashda katta ahamiyatga ega.

Farmatsevtika sohasidagi o'rni

Farmatsevtika sanoatida mahsulot sifati inson hayoti bilan bevosita bog'liq bo'lganligi sababli, xalqaro farmakopeyalar (masalan, USP - AQSh Farmakopeyasi, Ph. Eur. - Yevropa Farmakopeyasi) dori tozaligini (tekshirishda qat'iy standartlarni o'rnatgan. Bu jarayonlarda UV-Vis spektrofotometriyasi asosiy ish quroli hisoblanadi.

Dori vositalarining tozaligi va sifat nazorati:

Preparat tarkibidagi faol moddalar o'ziga xos yutilish spektriga ega. Spektrofotometr orqali dori vositasining yutilish spektri olinadi va etalon standart bilan solishtiriladi. Bu moddaning haqiqiylikini (identifikatsiya) tasdiqlash imkonini beradi. Shuningdek, dori tarkibida qolib ketgan zararli reaktivlar, degradatsiya mahsulotlari (parchalanish qoldiqlari) qancha miqdorda ekanligi fotometrik usulda aniqlanadi.

Ko'p komponentli aralashmalarni tahlil qilish:

Zamonaviy farmatsevtikada dorilar ko'pincha ikki yoki undan ortiq faol moddalardan iborat bo'ladi. Masalan, oftalmologiyada qo'llaniladigan brimonidin va timolol aralashmasi. Ularning yutilish spektrlari bir-birining ustiga tushib qoladi (overlapping spectra). Bunday holatda oddiy usullar samarasiz bo'lib, "Ratio difference method" yoki kemometrika (Chemometrics) deb ataluvchi murakkab matematik va statistik usullar qo'llaniladi.

Kompyuter dasturlari yordamida spektrlar tahlil qilinib, har bir moddaning konsentratsiyasi aralashmani fizik jihatdan ajratmasdan turib aniqlanadi.

Tibbiyot va klinik diagnostikadagi ahamiyati

Klinik laboratoriyalarda tezkor va to'g'ri tashxis qo'yish kasalliklarni davolashning eng muhim bosqichidir. Spektrofotometrlar bugungi kunda har bir zamonaviy biokimyoviy analizatorning yuragi hisoblanadi.

Biokimyoviy tahlillar va oqsillar miqdorini aniqlash:

Qon zardobi va boshqa biologik suyuqliklar tarkibidagi glyukoza, xolesterin, siydikchi (mochevina), kreatinin kabi moddalarni aniqlashda fermentativ fotometrik usullar keng qo'llaniladi. Shuningdek, oqsillarning konsentratsiyasini aniqlashda UV-Vis spektrofotometriyasi ajralmas usuldir. Oqsillar tarkibidagi aromatik aminokislotalar (triptofan, tirozin, fenilalanin) ultrabinafsha nurlanishni aynan 280 nm to'lqin uzunligida kuchli yutadi. Shu xususiyatdan foydalanib, tibbiyot xodimlari oqsil miqdorini hech qanday qo'shimcha kimyoviy reaktivlarsiz bir necha soniyada aniqlay oladilar.

Umumiy patologiya va hujayra shikastlanishi tahlili:

Umumiy patologiyada hujayra shikastlanishi yoki nekroz (hujayra o'limi) mexanizmlarini o'rganishda fermentlar tahlili muhimdir. Hujayra membranasi shikastlanganda uning ichidagi maxsus fermentlar (masalan, ALT, AST yoki troponinlar) qon oqimiga chiqib ketadi. Spektrofotometr orqali ushbu fermentlarning faolligini o'lchash orqali jigar shikastlanishi (gepatit) yoki miokard infarkti kabi jiddiy patologik holatlarga aniq diagnoz qo'yiladi. Etiopatogenezni tahlil qilishda fotometrik apparatlar kasallik dinamikasini kuzatish imkonini beradi.

Innovatsiyalar: Ushbu usul va apparat haqida nima yangiliklar qilish mumkin?

Garchi spektrofotometriya asrlar davomida takomillashib kelgan bo'lsa-da, fan va texnika taraqqiyoti ushbu apparatlarni yanada rivojlantirish uchun cheksiz imkoniyatlar ochmoqda. Kelajakda fotometrik usullar bo'yicha quyidagi yirik innovatsiyalarni amalga oshirish yoki ixtiro qilish mumkin:

1. Sun'iy Intellekt (AI) va Mashinali o'rganish (Machine Learning) integratsiyasi:

An'anaviy spektrofotometrlarda ma'lumotlarni tahlil qilish mutaxassisdan yuqori darajadagi bilimlarni talab qiladi. Kelajak avlod qurilmalarida spektral ma'lumotlarni bevosita tahlil qiluvchi va "yashirin" patologiyalarni (masalan, saratonning ilk bosqichlari uchun o'ziga xos biomarkerlar spektrini) avtomatik aniqlovchi AI neyrotarmoqlari yaratilishi mumkin. Bu apparatga "o'z-o'zini kalibrlash" (self-calibration) va natijalarni tibbiy xulosaga aylantirish qobiliyatini beradi.

2. Yuqori texnologiyali tibbiy uskunalardan bilan to'g'ridan-to'g'ri integratsiya:

Fotometrik datchiklarni diagnostika xonasidan chiqarib, bevosita bemor hayotini saqlab turuvchi apparatlarga o'rnatish ulkan inqilob bo'ladi. Masalan:

O'pkani sun'iy shamollatish apparatlar va anesteziya ish stansiyalari: Ushbu apparatlarning nafas olish konturiga mikrospektrofotometrik datchiklar o'rnatilishi orqali bemorning nafasidagi anesteziologik gazlar, CO₂ va O₂ darajalarini molekulyar yutilish orqali uzluksiz, kechikishsiz (real-time) tahlil qilish imkonini yaratish mumkin.

Neonatal inkubatorlar: Chala tug'ilgan chaqaloqlar uchun qon olish juda qiyin jarayon. Inkubatorlarning o'ziga chaqaloqning terisi orqali (non-invasive) yorug'lik yuborib, qaytgan nurni tahlil qiluvchi fotometrik datchiklarni integratsiya qilish orqali chaqaloqlardagi qon aylanishi, kislorod saturatsiyasi va eng muhimi – bilirubin miqdorini (sariqlikni) qon olmay turib muntazam nazorat qilish mexanizmini yaratish dolzarb innovatsiya hisoblanadi.

MRT (Magnetic Resonance Imaging) uskunalari bilan kombinatsiya: MRT apparatining kuchli magnit maydonida ishlay oladigan maxsus optik tolali (fiber-optic) spektrofotometrilar yaratish ustida izlanishlar olib borish mumkin. Bu orqali organlarning ham anatomik (MRT orqali), ham molekulyar-kimyoviy (Spektrofotometr orqali) xaritasini bir vaqtning o'zida olish tizimini shakllantirish mumkin.

3. Miniaturizatsiya va Nano-spektrofotometrilar:

Tadqiqotchi olimlar spektrofotometrning o'lchamlarini mikroskopik darajagacha kichraytirish ustida ishlashlari mumkin. Smartfonlarga ulanadigan yoki kiyiladigan (wearable) datchiklar ko'rinishidagi fotometrik qurilmalar odamlarga o'zlarining qondagi qand miqdorini (glyukoza nurlanish yutilishiga asoslanib) ignasiz o'lchash imkonini beradi.

4. Yashil kimyo (Green Chemistry) tamoyillari:

Spektrofotometriya reaktivsiz (reagent-free) analizlar tomon siljishi kerak. Kelajakdagi apparatlar faqatgina optik nurlanish kombinatsiyalari orqali murakkab zaharli erituvchilarga ehtiyoj qoldirmaydigan sof fizik o'lchash tizimlariga o'tishi zarur.

Xulosa qilib aytganda, spektrofotometriya analitik kimyo, farmatsevtika va klinik tibbiyot o'rtasida mustahkam ko'priq vazifasini o'taydigan universal o'lchov vositasidir. Beer-Lambert qonunining matematik aniqligi, yorug'lik manbalari va detektorlarining yuqori sezgirligi ushbu usulning barcha zamonaviy laboratoriyalarning "oltin standarti" bo'lib qolishini ta'minlaydi. Oqsillar tahlilidan tortib, dori preparatlarining tozaligini baholash va murakkab etiologik kasalliklarda hujayra darajasidagi o'zgarishlarni aniqlashgacha bo'lgan jarayonlar aynan fotometrik apparatlar yordamida amalga oshiriladi.

Shu bilan birga, texnologiya bir joyda to'xtab qolmaydi. Yuqorida taklif etilganidek, bu usulning sun'iy intellekt va hayotni ta'minlovchi klinik uskunalari (inkubatorlar, ventilyatorlar) bilan kelajakdagi integratsiyasi tibbiyotda mutlaqo yangi sahifa ochadi. Spektrofotometriya,

uning o'tmishi qanchalik boy bo'lmasin, kelajakda insoniyat salomatligi va ilm-fani taraqqiyoti uchun beqiyos xizmat qilishda davom etaveradi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1.El-Zanfaly, H. T., et al. (2018). "A smart simple spectrophotometric method for simultaneous determination of binary mixtures." PubMed Central (PMC).

2.Górecki, T., et al. (2012). "Chemometrics in pharmaceutical analysis: an introduction, review, and future perspectives." PubMed.

3.Persee Analytics (2023). "How UV-Vis Spectrophotometry Powers Modern Clinical Diagnostics." Persee General News.

4.Mabion Science Hub (2023). "UV-VIS Spectrometry for Protein Concentration Analysis: Principles and Applications." Biologics Analytics. **5.Hinotek Scientific (2023).** "How to Calibrate a Spectrophotometer: A Step-by-Step Guide for Accurate Scientific Measurements." Hinotek. **6.Hassan, A. A. (2022).** "Spectrophotometric/Titrimetric Drug Analysis." IntechOpen.

7.Prajapati, P., et al. (2019). "Spectrophotometric Analysis of Drugs: Methods for Purity Assessment and Pharmaceutical Formulation." IJRAR.