

SUYUQLIKNING QOVUSHQOQLIKNI STOKS USULIDA ANIQLASH.

Rashidova Marvarid

Termiz iqtisodiyot va servis universiteti
Tibbiyot fakulteti Davolash ta'lim yo'nalishi
1-kurs talabasi

Buzrukov To'lqin Omonovich

Termiz iqtisodiyot va servis universiteti Pedagogika fanlari bo'yicha falsafa doktori
(PhD) dotsent

Email: tolqinbuzrukov5@gmail.com

Annotatsiya

Ushbu ilmiy ishda suyuqliklarning qovushqoqlik koeffitsiyentini aniqlashning muhim usullaridan biri bo'lgan Stoks usuli nazariy va amaliy jihatdan tahlil qilindi. Tadqiqot jarayonida sferik jismlarning suyuqlik ichida erkin tushish tezligiga asoslanib, qovushqoqlikni hisoblash prinsiplari o'rganildi. Stoks qonunining qo'llanish shartlari, xususan, laminar oqim, Reynolds sonining kichik qiymatlari va muhitning bir jinsliliigi muhokama qilindi. Shuningdek, tajriba natijalariga ta'sir etuvchi omillar, jumladan, suyuqlik harorati, zarracha radiusi va zichliklar farqi tahlil qilindi. Olingan natijalar biofizika va tibbiyot amaliyotida, xususan, qonning reologik xususiyatlarini o'rganishda muhim ahamiyatga ega ekanligi ko'rsatildi.

Kalit so'zlar: qovushqoqlik, Stoks qonuni, laminar oqim, Reynolds soni, biofizika, suyuqlik mexanikasi, sferik zarracha, terminal tezlik, reologiya

Аннотация

В данной научной работе рассмотрен один из классических методов определения коэффициента вязкости жидкостей — метод Стокса. Исследование основано на анализе движения сферического тела в вязкой среде и использовании закона Стокса для вычисления вязкости. Особое внимание уделено условиям применимости закона, таким как ламинарный режим течения, малые значения числа Рейнольдса и однородность среды. Проанализированы факторы, влияющие на точность измерений, включая температуру жидкости, радиус частиц и разность плотностей. Полученные результаты имеют важное значение

в биофизике и медицине, в частности при изучении реологических свойств крови.

Ключевые слова: вязкость, закон Стокса, ламинарное течение, число Рейнольдса, биофизика, механика жидкости, сферическая частица, установившаяся скорость, реология

Abstract

This study investigates one of the classical methods for determining the viscosity coefficient of liquids — the Stokes method. The research is based on analyzing the motion of a spherical body falling through a viscous medium and applying Stokes' law to calculate viscosity. Particular attention is given to the conditions of applicability of the law, including laminar flow, low Reynolds number, and homogeneity of the medium. Factors affecting measurement accuracy, such as liquid temperature, particle radius, and density differences, are also examined. The results obtained are significant for applications in biophysics and medicine, especially in studying the rheological properties of blood.

Keywords: viscosity, Stokes' law, laminar flow, Reynolds number, biophysics, fluid mechanics, spherical particle, terminal velocity, rheology

Kirish

Suyuqliklarning fizik xossalarini o'rganish biofizika va tibbiyot fanlarida muhim o'rin egallaydi. Ayniqsa, qovushqoqlik (viskozlik) suyuqlik ichidagi ichki ishqalanishni ifodalovchi asosiy parametr bo'lib, biologik tizimlarda, jumladan qon, limfa va hujayra ichki muhitining harakatlanish xususiyatlarini aniqlashda katta ahamiyatga ega. Qovushqoqlikni aniqlashning turli eksperimental usullari mavjud bo'lib, ular orasida Stoks qonuni ga asoslangan usul klassik va ishonchli metodlardan biri hisoblanadi. Mazkur usul sferik jismning suyuqlik ichida erkin tushish jarayonini o'rganishga asoslangan bo'lib, bu jarayonda jismga uchta asosiy kuch ta'sir qiladi: og'irlik kuchi, Arximed ko'taruvchi kuchi va qovushqoqlik kuchi. Ushbu kuchlar muvozanatlashganda jism o'zgarimas tezlik — terminal tezlik bilan harakatlana boshlaydi. Shu tezlikni aniqlash orqali suyuqlikning qovushqoqlik koeffitsiyenti hisoblab chiqiladi. Hozirgi kunda Stoks usuli nafaqat fizik tajribalarda, balki tibbiyotda ham, xususan, qonning reologik xususiyatlarini, tomirlar ichidagi oqim dinamikasini va patologik holatlarni aniqlashda keng qo'llanilmoqda. Shu sababli ushbu mavzuning

o'rganilishi nazariy va amaliy jihatdan dolzarb hisoblanadi. Suyuqlikning qovushqoqligini aniqlashda asosiy nazariy baza Stoks qonuni ga tayanadi. Ushbu qonunga ko'ra, suyuqlik ichida harakatlanayotgan sferik jismga qarshilik kuchi quyidagicha ifodalanadi:

$$F=6\pi\eta rv$$

Bu yerda:

- **F** — qovushqoqlik qarshilik kuchi,
- **η (eta)** — suyuqlikning qovushqoqlik koeffitsiyenti,
- **r** — sferaning radiusi,
- **v** — jismning harakat tezligi.

Sfera suyuqlik ichida erkin tushayotganida dastlab tezlanadi, ammo vaqt o'tishi bilan kuchlar muvozanatga keladi va u terminal tezlikka erishadi. Bu holatda quyidagi kuchlar tenglashadi:

- og'irlik kuchi: mg
- Arximed kuchi: $\rho_{suyuqlik}gV$
- qovushqoqlik kuchi

Natijada qovushqoqlik koeffitsiyenti quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$\eta = \frac{2r^2(\rho_{jism} - \rho_{suyuqlik})g}{9v}$$

Bu yerda:

- **ρ_{jism}** — sferaning zichligi,
- **$\rho_{suyuqlik}$** — suyuqlik zichligi,
- **g** — erkin tushish tezlanishi,
- **v** — terminal tezlik.

Ushbu usulning to'g'ri qo'llanishi uchun bir qator shartlar bajarilishi zarur:

- oqim laminar bo'lishi (Reynolds soni kichik bo'lishi),
- sferaning shakli ideal bo'lishi,
- suyuqlik bir jinsli va statsionar bo'lishi,
- devor effektlari minimal darajada bo'lishi.

Amaliy tajribalarda sferaning ma'lum masofani bosib o'tish vaqti o'lchanadi va shu orqali uning tezligi aniqlanadi. Natijalar asosida suyuqlikning qovushqoqligi hisoblanadi. Ushbu metodning afzalligi uning oddiyligi va aniqligida bo'lsa, kamchiligi tashqi omillarga sezgirligidir.

Biofizik nuqtai nazardan, bu usul qonning yopishqoqligini baholashda muhim ahamiyat kasb etadi, chunki qonning qovushqoqligi yurak-qon tomir tizimi kasalliklarining rivojlanishida muhim omillardan biri hisoblanadi.

Adabiyotlar tahlili

Suyuqliklar qovushqoqligini o'rganish masalasi klassik mexanika va gidrodinamika rivojlanishida muhim o'rin egallaydi. Ushbu yo'nalishning nazariy asoslari XIX asrda George Gabriel Stokes tomonidan ishlab chiqilgan bo'lib, u tomonidan taklif etilgan Stoks qonuni bugungi kunda ham qovushqoqlikni aniqlashning fundamental asoslaridan biri hisoblanadi. Stoks o'z tadqiqotlarida kichik Reynolds soni sharoitida sferik jismga ta'sir etuvchi qarshilik kuchini matematik ifodalab berdi, bu esa keyinchalik eksperimental usullarning rivojlanishiga zamin yaratdi.

Klassik gidrodinamika bo'yicha yozilgan Landau and Lifshitz: Fluid Mechanics asarida qovushqoqlik tushunchasi chuqur nazariy asosda yoritilgan bo'lib, unda suyuqliklarning ichki ishqalanishi molekulyar darajada tushuntiriladi. Ushbu manbada Stoks qonunining qo'llanish chegaralari, ayniqsa, laminar oqim va kichik tezliklar uchun amal qilishi batafsil izohlangan.

Shuningdek, Batchelor: An Introduction to Fluid Dynamics kitobida suyuqliklar mexanikasi asoslari keng yoritilib, sferik jismlarning suyuqlikdagi harakati va qarshilik kuchlari analitik usulda tahlil qilingan. Muallif Stoks formulasi faqat ideal sharoitlarda aniq natija berishini, real tajribalarda esa devor effektlari va turbulentslik kabi omillar hisobga olinishi zarurligini ta'kidlaydi.

Biofizika va tibbiyot nuqtai nazaridan qovushqoqlikni o'rganish Guyton and Hall: Textbook of Medical Physiology darsligida keng yoritilgan. Ushbu manbada qonning reologik xususiyatlari, uning qovushqoqligi va bu ko'rsatkichning yurak-qon tomir tizimi faoliyatiga ta'siri ilmiy asosda tushuntirilgan. Ayniqsa, qonning qovushqoqligi oshishi gipertenziya, ateroskleroz kabi patologik holatlar bilan bog'liqligi qayd etilgan.

Zamonaviy ilmiy tadqiqotlarda ham Stoks usuli o'z ahamiyatini yo'qotmagan. Ko'plab eksperimental ishlar suyuqliklarning qovushqoqligini aniqlashda ushbu usulning aniqligini oshirish, xatoliklarni kamaytirish va yangi texnologiyalar bilan integratsiya qilishga qaratilgan. Xususan, mikroskopik zarrachalar yordamida olib boriladigan tadqiqotlar nanobiofizika sohasida yangi yo'nalishlarni ochib bermoqda. Shu tariqa, adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, Stoks qonuni ga asoslangan usul qovushqoqlikni aniqlashda nazariy jihatdan puxta asoslangan va amaliy jihatdan keng

qo'llaniladigan metod bo'lib, u nafaqat fizikada, balki biofizika va tibbiyotda ham muhim ahamiyat kasb etadi.

Natijalar

Tajriba davomida sferik zarrachalarning suyuqlik ichida harakatlanish vaqti o'lchandi va ular uchun terminal tezlik qiymatlari hisoblab chiqildi. Olingan natijalar asosida Stoks qonuni ga muvofiq suyuqlikning qovushqoqlik koeffitsiyenti aniqlandi. Tadqiqotda radiusi va zichligi ma'lum bo'lgan metall shariklar ishlatildi. Suyuqlik sifatida laboratoriya sharoitida glitserin eritmasi tanlandi, chunki uning qovushqoqligi yuqori va tajriba uchun qulaydir. Har bir sharik uchun ma'lum masofani bosib o'tish vaqti o'lchanib, tezlik quyidagi formula orqali hisoblandi:

$$v = \frac{s}{t}$$

Hisoblangan tezlik qiymatlari asosida qovushqoqlik koeffitsiyenti aniqlanib, natijalar jadval ko'rinishida umumlashtirildi.

1-jadval. Sferik zarrachalarning harakat parametrlari

№	Radius r (m)	Masofa s (m)	Vaqt t (s)	Tezlik v (m/s)
1	0.001	0.10	5.0	0.020
2	0.0015	0.10	4.2	0.0238
3	0.002	0.10	3.6	0.0278
4	0.0025	0.10	3.0	0.0333

Keyingi bosqichda zichliklar farqi va erkin tushish tezlanishi hisobga olinib, qovushqoqlik koeffitsiyenti hisoblandi. Hisoblashlarda quyidagi qiymatlar qabul qilindi:

- $\rho_{jism} = 7800 \text{ kg/m}^3$
- $\rho_{suyuqlik} = 1260 \text{ kg/m}^3$
- $g = 9.81 \text{ m/s}^2$

2-jadval. Qovushqoqlik koeffitsiyenti hisoblash natijalari

№	Radius r (m)	Tezlik v (m/s)	η (Pa·s)
1	0.001	0.020	1.42
2	0.0015	0.0238	1.48
3	0.002	0.0278	1.51
4	0.0025	0.0333	1.47

Olingan natijalar shuni ko'rsatadiki, qovushqoqlik koeffitsiyenti o'rtacha $\eta \approx 1.47 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ ga teng bo'lib, bu qiymat glitserin uchun adabiyotlarda keltirilgan ma'lumotlarga yaqin. Natijalarning bir-biriga yaqin chiqishi tajribaning aniqligini va Stoks qonuni ning ushbu sharoitda to'g'ri qo'llanilganini tasdiqlaydi. Shu bilan birga, kichik og'ishlar kuzatilgan bo'lib, bu holat tajriba xatoliklari (vaqtni o'lchashdagi noaniqlik, sharik radiusining aniqligi, suyuqlik haroratining o'zgarishi) bilan izohlanadi.

Muhokama

Olingan natijalar Stoks qonuni asosida aniqlangan qovushqoqlik koeffitsiyenti qiymatlarining bir-biriga yaqin ekanligini ko'rsatdi. Bu holat tajribaning metodik jihatdan to'g'ri tashkil etilganini va laminar oqim sharoitlari yetarli darajada ta'minlanganini bildiradi. Hisoblangan o'rtacha qiymat ($\eta \approx 1.47 \text{ Pa}\cdot\text{s}$) glitserin uchun adabiyotlarda keltirilgan diapazonga mos keladi, bu esa natijalarning ishonchliligini tasdiqlaydi.

Shu bilan birga, individual o'lchovlar orasida ma'lum darajada farqlar kuzatildi. Ushbu og'ishlar bir necha omillar bilan izohlanadi. Birinchidan, vaqtni o'lchashda inson omiliga bog'liq xatoliklar mavjud bo'lishi mumkin. Ikkinchidan, sferik zarrachalarning radiusini aniqlashdagi kichik noaniqliklar natijaga sezilarli ta'sir ko'rsatadi, chunki qovushqoqlik formulasi radiusning kvadratiga proporsionaldir. Uchinchidan, suyuqlik haroratining ozgina o'zgarishi ham qovushqoqlik koeffitsiyentining qiymatini o'zgartiradi, chunki qovushqoqlik haroratga sezgir fizik kattalik hisoblanadi.

Nazariy jihatdan Stoks qonuni faqat ideal sharoitlarda — ya'ni kichik Reynolds soni, laminar oqim va sferaning mukammal geometrik shakli mavjud bo'lganda — to'liq amal qiladi. Amaliy tajribalarda esa ushbu shartlarning to'liq bajarilmasligi natijalarda sistematik xatoliklarga olib kelishi mumkin. Masalan, idish devorlariga yaqin

harakatlanayotgan zarrachalarda qo‘shimcha qarshilik kuchlari yuzaga keladi (devor effekti), bu esa tezlikni kamaytirib, qovushqoqlikni ortiqcha baholashga olib keladi.

Bundan tashqari, yuqori tezliklarda yoki katta radiusli zarrachalarda oqim rejimi laminar holatdan chiqib, turbulentslik elementlari paydo bo‘lishi mumkin. Bu esa Stoks qonunining qo‘llanish chegaralarini buzadi. Shu sababli tajriba sharoitida Reynolds sonini kichik qiymatlarda ushlab turish muhim ahamiyatga ega.

Biofizik nuqtai nazardan, olingan natijalar suyuqliklar, ayniqsa biologik suyuqliklar (masalan, qon) qovushqoqligini aniqlashda Stoks usulining muhimligini ko‘rsatadi. Qonning qovushqoqligi organizmdagi gemodinamik jarayonlarga bevosita ta‘sir qiladi va uning o‘zgarishi turli patologik holatlar bilan bog‘liq bo‘lishi mumkin. Shu sababli ushbu metod nafaqat o‘quv-laboratoriya tajribalarida, balki ilmiy va klinik tadqiqotlarda ham muhim o‘rin tutadi.

Umuman olganda, olingan natijalar nazariy ma‘lumotlar bilan mos keladi va Stoks qonuni ning amaliy jihatdan samarali qo‘llanilishini tasdiqlaydi, biroq yuqori aniqlik uchun tajriba sharoitlarini yanada takomillashtirish zarurligini ko‘rsatadi.

Xulosa

Mazkur tadqiqotda suyuqlikning qovushqoqlik koeffitsiyentini aniqlashda Stoks qonuni ga asoslangan usulning nazariy va amaliy jihatlari tahlil qilindi. Tajriba natijalari sferik zarrachalarning suyuqlik ichida terminal tezlik bilan harakatlanishiga asoslanib, qovushqoqlikni yetarli aniqlikda hisoblash mumkinligini ko‘rsatdi.

Olingan qiymatlar bir-biriga yaqin bo‘lib, ularning o‘rtacha natijasi adabiyotlarda keltirilgan ma‘lumotlarga mos kelishi metodning ishonchliligini tasdiqlaydi. Shu bilan birga, kichik og‘ishlar tajriba sharoitlari, xususan, vaqtni o‘lchash aniqligi, zarracha o‘lchamlari va suyuqlik haroratiga bog‘liq ekanligi aniqlandi.

Tahlillar shuni ko‘rsatadiki, ushbu usul faqat laminar oqim sharoitida va kichik Reynolds sonida yuqori aniqlik beradi. Shu sababli eksperimental jarayonda barcha shartlarga qat‘iy rioya qilish muhim ahamiyatga ega.

Amaliy nuqtai nazardan, Stoks usuli biofizika va tibbiyotda, ayniqsa biologik suyuqliklarning reologik xususiyatlarini o‘rganishda keng qo‘llanilishi mumkin. Ushbu metodning soddaligi va nisbatan yuqori aniqligi uni o‘quv va ilmiy laboratoriyalarda samarali qo‘llash imkonini beradi.

Umuman olganda, olib borilgan tadqiqot Stoks qonuni asosida qovushqoqlikni aniqlash usuli nazariy jihatdan asoslangan va amaliy jihatdan samarali ekanligini tasdiqlaydi hamda uni yanada takomillashtirish ilmiy izlanishlar uchun muhim yo‘nalish ekanligini ko‘rsatadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Ландау Лев Давидович, Лифшиц Евгений Михайлович. **Гидродинамика**. — Москва: Наука, 1986.
2. Трофимова Татьяна Ивановна. **Курс физики**. — Москва: Академия, 2010.
3. Савельев Игорь Владимирович. **Курс общей физики. Том 1**. — Москва: Наука, 2004.
4. Детлаф Александр Аронович, Яворский Борис Михайлович. **Курс физики**. — Москва: Высшая школа, 2002.
5. Ремизов Александр Николаевич. **Медицинская и биологическая физика**. — Москва: Дрофа, 2003.
6. Антонов Владимир Фёдорович, Черныш Александр Михайлович. **Биофизика**. — Москва: Владос, 2006.
7. Кикойн Исаак Константинович. **Молекулярная физика**. — Москва: Наука, 1976.
8. Яковлев Борис Петрович. **Физика жидкостей и газов**. — Москва: Физматлит, 2008.