

UDC 008

SCOPUS CODE 2604

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2025-3-344-351>

წრიული ფოროვანი დისკოს ბრუნვით წარმოქმნილი გამტარი სითხის დინების სტაციონარული ამოცანა მაგნიტური ველის გათვალისწინებით

ლევან ჯიქიძე	საინჟინრო მექანიკისა და მშენებლობის ტექნიკური ექსპერტიზის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 68 ^ბ E-mail: l.jikidze@gtu.ge
ვარდენ ცუცქირიძე	მათემატიკის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 77 E-mail: b.tsutskiridze@mail.ru
ლიანა ქვარცხავა	საინჟინრო მექანიკისა და მშენებლობის ტექნიკური ექსპერტიზის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 68 ^ბ E-mail: kvartskhavaliana01@gtu.ge

რეცენზენტები:

ტ. კვიციანი, სტუ-ის სამშენებლო ფაკულტეტის პროფესორი

E-mail: tarielk@mail.ru

ზ. ციცქიშვილი, სტუ-ის სამშენებლო ფაკულტეტის ასოცირებული პროფესორი

E-mail: z.tsitskishvili@gtu.ge

ანოტაცია. ნაშრომში შესწავლილია ელექტრო-გამტარ სითხეში წრიული ფოროვანი დისკოს ბრუნვით წარმოქმნილი დინების სტაციონარული ამოცანა დისკოში იმავე სითხის შეჟონვის სიჩქარის მუდმივი მნიშვნელობისათვის, ერთგვაროვანი მაგნიტური ველის გათვალისწინებით.

ამოცანის შესასწავლად გამოყენებულია მიმდევრობითი მიახლოების მეთოდი, რომელიც ცნობილია გრინის ფუნქციისა და მცირე პარამეტრის მე-

თოდის სახელწოდებით. განხილულ შემთხვევაში მცირე პარამეტრი რეინოლდსის რიცხვია. მაგნიტურ ველში ელექტროგამტარი სითხის მოძრაობის ნავიე-სტოქსის კერძოწარმოებულებიანი არაწრფივი დიფერენციალური განტოლებათა სისტემა კარმანის განზოგადებული ჩასმების გამოყენებით დაყვანილია ჩვეულებრივ არაწრფივ დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემაზე, რომელთა ამოხსნებს ვეძებთ უსასრულო მწკრივების სახით რეინოლდსის რიცხვის მცირე მნიშვნელობებისათვის.

ამოცანის ამოხსნა გრინის ფუნქციის გამოყენებით დაყვანილია ინტეგრალურ-დიფერენციალური განტოლებების ამოხსნაზე. აგებულია შესაბამისი ამოცანის გრინის ფუნქცია და მიღებულია რეკურენტული ფორმულები, რომელთა საშუალებითაც შესაძლებელია გამოვთვალოთ ამონახსნები ნებისმიერი მიახლოებით. ცხადი სახით გამოთვლილია პირველი ორი მიახლოება.

გამოთვლილია სითხის დინების ფიზიკური მახასიათებლები და მიღებულია გამოსახულებები სითხის სიჩქარის კომპონენტებისათვის, ასევე მიღებულია გამოსახულება დისკოზე წნევის განაწილებისათვის. გამოთვლილია ფირფიტის ბრუნვის წინაღობის მომენტი.

საკვანძო სიტყვები: გრინის ფუნქცია; დინება; დიფერენციალური განტოლება; ელექტროგამტარობა; კარმანის ჩასმები; მაგნიტური ველი; ფორიანობა; შეჟონვის სიჩქარე.

შესავალი

მბრუნავი დისკოს მახლობლობაში სითხის სტაციონარული დინება შესწავლილი იყო კარმანის [1] მიერ, რომელმაც დასმული ამოცანის ამოსახსნელად გამოიყენა თავისი ცნობილი გარდაქმნები, რომელთა საშუალებითაც სითხის მოძრაობის ნავიე-სტოქსის არაწრფივ დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემა დაიყვანა ჩვეულებრივ არაწრფივ დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემაზე. მოგვიანებით კოკრენის [2] მიერ მიღებული იყო კარმანის ამოცანის ასიმპტოტური ამოხსნები, რომელთა ანალიზი იყო ბევრად უფრო მარტივი და მი-

ღებული იყო მეტად ღირებული ინფორმაცია. ყოველივე ამან კი განხილულ ამოცანას შესძინა მნიშვნელოვანი თეორიული ღირებულება. ბენტონმა [3] გააუმჯობესა კოკრენის მიერ მიღებული შედეგები და ამოხსნა არასტაციონარული ამოცანა. მან ასევე დაასაბუთა, რომ სტაციონარული ამოცანის ამოხსნა შეიძლება მიღებული იყოს დროზე დამოკიდებული პროცესების დახმარებით.

ნებისმიერი ნივთიერება (სხეული), რომელსაც აქვს ხვრეტები ან ფორები, რომელიც სითხეს საშუალებას აძლევს გაიაროს მასში, წარმოადგენს ფორიან გარემოს. ეს მასალები შეიძლება დამზადებული იყოს ხელოვნურად კონკრეტული მიზნებისათვის (კერამიკა, ქაფი), ან შეიძლება იყოს ბუნებრივი, როგორცაა ნიადაგები, ქანები და ბიოლოგიური ქსოვილები. მრავალი დისციპლინა, მათ შორის გეოლოგია, ჰიდროლოგია, ნავთობის ინჟინერია, გარემოსდაცვითი მეცნიერება და ბიოსამედიცინო ინჟინერია, დიდწილად დამოკიდებულია ფორიან გარემოში სითხის ნაკადის მოძრაობის შესწავლაზე. აქედან გამომდინარე, თავისთავად ცხადია, რომ პრაქტიკული თვალსაზრისით საინტერესოა ისეთი ამოცანების შესწავლა, რომლებიც დაკავშირებულია სითხით გარსდენადი ფორიანი სხეულების მოძრაობასთან. სტიუარტი [4] იყო ერთ-ერთი პირველი იმ მეცნიერთაგან, რომელმაც შეისწავლა ფორიანი წრიული დისკოს ზედაპირიდან სითხის გამოჟონვის (შეჟონვის) სიჩქარის გავლენა დისკოს ბრუნვით წარმოქმნილ სითხის ნაკადზე. კუიკენმა [5] შეისწავლა ფორიან დისკოში სითხის თანაბარი შეჟონვის გავლენა დისკოს ბრუნვით წარმოქმნილ სითხის დინებაზე. ოკენდონმა [6] ასიმპტოტური მეთოდის გამოყენებით შეისწავლა მბრუნავი ფორიანი

დისკოს ბრუნვით წარმოქმნილი სითხის დინება გაჟონვის სიჩქარის მცირე მნიშვნელობებისათვის.

მრავალი მეცნიერის ინტერესის საგანია ელექტროგამტარი სითხის დინებასთან დაკავშირებული ისეთი სტაციონარული და არასტაციონარული ამოცანების შესწავლა, როცა გარსდენადი ფოროვანი სხეულების ზედაპირების მახლობლობაში გათვალისწინებულია სუსტი ან ძლიერი მაგნიტური ველის ზემოქმედება. რამ და გუპთამ [7] განაზოგადეს სტიუარტის ამოცანა მაგნიტური ველის შემთხვევაში გაჟონვის რეინოლდსის რიცხვის დიდი მნიშვნელობებისათვის. ამ მიმართულებით მრავალი შრომა აქვს გამოქვეყნებული ჯ.შარიჰამეს [9], ლ. ჯიქიმეს, ვ.ცუცქირიძესა და ე. ელერდაშვილს. [10], [11].

ძირითადი ნაწილი

წინამდებარე ნაშრომში მიმდევრობითი მიახლოების მეთოდით (გრინის ფუნქციისა და მცირე პარამეტრის მეთოდი) შესწავლილია წრიული ფო-

როვანი დისკოს ბრუნვით წარმოქმნილი ელექტროგამტარი სითხის დინების სტაციონარული ამოცანა მაგნიტური ველის გათვალისწინებით, დისკოში იმავე სითხის შეჟონვის სიჩქარის მუდმივი მნიშვნელობისათვის.

ვთქვათ R რადიუსის ფოროვანი წრიული დისკო ბრუნავს ელექტროგამტარ სითხეში დისკოს O ცენტრზე მის მართობულად გამავალი Oz ღერძის გარშემო ω კუთხური სიჩქარით, დისკოში ხდება იმავე სითხის შეჟონვა მუდმივი $\vec{v}_w$ სიჩქარით და დისკოს მართობულად მოქმედებს ერთგვაროვანი $\vec{B}$ მაგნიტური ველი. ამოცანის მიზანია დისკოს მახლობლობაში სითხის დინების ხასიათის შესწავლა და სითხის ყველა ფიზიკური მახასიათებლის განსაზღვრა.

ვისარგებლოთ მაგნიტურ ველში გამტარი სითხის სტაციონარული მოძრაობის ნავე-სტოქსის დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემით, რომელსაც აქვს შემდეგი სახე:

$$\begin{cases} v_r \frac{\partial v_r}{\partial r} + v_z \frac{\partial v_r}{\partial z} - \frac{v_\phi^2}{r} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} + \nu \left(\frac{\partial^2 v_r}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{\partial^2 v_r}{\partial z^2} - \frac{v_r}{r^2} \right) - \frac{\sigma B^2}{\rho} v_r, \\ v_r \frac{\partial v_\phi}{\partial r} + v_z \frac{\partial v_\phi}{\partial z} + \frac{v_r v_\phi}{r} = \nu \left(\frac{\partial^2 v_\phi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_\phi}{\partial r} + \frac{\partial^2 v_\phi}{\partial z^2} - \frac{v_\phi}{r^2} \right) - \frac{\sigma B^2}{\rho} v_\phi, \\ v_r \frac{\partial v_z}{\partial r} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \left(\frac{\partial^2 v_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_z}{\partial r} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right), \\ \frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{v_r}{r} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0. \end{cases} \quad (1)$$

(1) სისტემა უნდა ამოიხსნას შემდეგ სასაზღვრო პირობებში:

$$\begin{cases} z = 0, v_r = 0, v_\phi = a\omega r, v_z = v_w, \\ z = \infty, v_r = 0, v_\phi = 0. \end{cases} \quad (2)$$

მექანიკური მოსაზრებებიდან გამომდინარე, შემოვიტანოთ ახალი ფუნქციები და (1) განტოლებათა სისტემაში გამოვიყენოთ კარმანის შემდეგი სახის განზოგადებული ჩასმები:

$$\begin{cases} \nu_r(r, z) = \omega r f(\eta), \quad \nu_\phi(r, z) = \omega r q(\eta), \quad \nu_z(z) = \sqrt{\nu \omega} g(\eta), \\ \nu_w = \sqrt{\nu \omega} u_w, \quad p(z) = -\rho \nu \omega P(\eta), \quad \eta = \frac{z}{R}. \end{cases} \quad (3)$$

შედეგად მივიღებთ ახალ განტოლებათა სისტემას და სასაზღვრო პირობებს:

$$\begin{cases} \frac{d^2 f}{d\eta^2} - m^2 f = \sqrt{R_e} g \frac{df}{d\eta} + R_e (f^2 - q^2), \\ \frac{d^2 q}{d\eta^2} - m^2 q = \sqrt{R_e} g \frac{dq}{d\eta} + R_e (2fq), \\ \frac{dP}{d\eta} = g \frac{dg}{d\eta} - \frac{1}{\sqrt{R_e}} \frac{d^2 g}{d\eta^2}, \\ 2\sqrt{R_e} f + \frac{dg}{d\eta} = 0, \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} \eta = 0, \quad f = 0, \quad q = a, \quad g = u_w, \\ \eta = \infty, \quad f = 0, \quad q = 0, \end{cases} \quad (5)$$

სადაც $m^2 = \frac{\sigma B}{\rho \omega}$ - მაგნიტური ურთიერთქმედების რიცხვია, $R_e = \frac{\omega R^2}{\nu}$ - რეინოლდსის რიცხვი, a კი -

ბრუნვის პარამეტრი.

(4), (5) ამოცანის ამოხსნა გრინის ფუნქციის გამოყენებით შეიძლება დავიყვანოთ შემდეგი ინტეგრალურ-დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემის ამოხსნაზე

$$\begin{cases} f = \int_0^\infty \left[\sqrt{R_e} g \frac{df}{d\eta} + R_e (f^2 - q^2) \right] G(\eta, \zeta) d\zeta, \\ q = \int_0^\infty \left[\sqrt{R_e} g \frac{dq}{d\eta} + R_e (2fq) \right] G(\eta, \zeta) d\zeta, \\ g = -\sqrt{R_e} \int_0^\eta (2f) d\zeta, \end{cases} \quad (6)$$

სადაც $G(\eta, \zeta)$ არის შემდეგი ამოცანის შესაბამისი გრინის ფუნქცია

$$\frac{d^2 G}{d\eta^2} - m^2 G = 0, \quad G(0) = 0, \quad G(\infty) = 0$$

და აქვს შემდეგი სახე:

$$G(\eta, \zeta) = \begin{cases} G_1 = \frac{e^{-m\eta} - e^{m\eta}}{2m} e^{-m\zeta}, & 0 \leq \eta < \zeta, \\ G_2 = \frac{e^{-m\zeta} - e^{m\zeta}}{2m} e^{-m\eta}, & \zeta < \eta < \infty. \end{cases} \quad (7)$$

ვევებით (6) სისტემის ამონახსნები უსასრულო მწკრივების სახით რეინოლდსის რიცხვის მცირე მნიშვნელობებისათვის:

$$f = \sum_{k=0}^{\infty} R_e^{\frac{k}{2}+1} f_k, \quad q = \sum_{k=0}^{\infty} R_e^{\frac{k}{2}} q_k, \quad g = u_w + \sum_{k=0}^{\infty} R_e^{\frac{k+3}{2}} g_k. \quad (8)$$

თუ (8) მწკრივებს ჩავსვამთ (6) განტოლებათა სისტემაში და ერთმანეთს გავუტოლებთ რეინოლდსის რიცხვის ერთნაირი ხარისხების წინ მდგომ კოეფიციენტებს, მივიღებთ შემდეგ რეკურენტულ ფორმულებს:

$$\begin{aligned} f_0 &= \int_0^{\infty} (-q_0^2) G(\eta, \zeta) d\zeta, \\ f_j &= \int_0^{\infty} \left(u_w \frac{df_{j-1}}{d\zeta} - \sum_{\alpha=0}^j q_{\alpha} q_{j-\alpha} \right) G(\eta, \zeta) d\zeta, \quad j=1, 2, 3 \\ f_j &= \int_0^{\infty} \left[u_w \frac{df_{j-1}}{d\zeta} + \sum_{\alpha=0}^{j-4} \left(g_{j-\alpha-4} \frac{df_{\alpha}}{d\zeta} + f_{\alpha} f_{j-\alpha-4} \right) - \sum_{\alpha=1}^{j-1} q_{\alpha} q_{j-\alpha} \right] G(\eta, \zeta) d\zeta, \quad j \geq 4, \\ q_0 &= A(\eta), \\ q_j &= \int_0^{\infty} \left(u_w \frac{dq_{j-1}}{d\zeta} \right) G(\eta, \zeta) d\zeta, \quad j=1, 2, 3, \\ q_j &= \int_0^{\infty} \left(u_w \frac{dq_{j-1}}{d\zeta} + 2f_{j-4} q_{j-4} \right) G(\eta, \zeta) d\zeta, \quad j=4, \\ q_j &= \int_0^{\infty} \left[u_w \frac{dq_{j-1}}{d\zeta} + \sum_{\alpha=0}^{j-4} \left(g_{\alpha} \frac{dq_{j-\alpha-4}}{d\zeta} + 2f_{j-4} q_{j-4} \right) \right] G(\eta, \zeta) d\zeta, \quad j \geq 5, \\ g_j &= -2 \int_0^{\eta} f_j(\zeta) d\zeta, \quad j \geq 0, \end{aligned}$$

სადაც $A(\eta)$ არის $\frac{d^2 A}{d\eta^2} - m^2 = 0$, $A(0) = a$, $A(\infty) = 0$ ამოცანის ამონახსნი.

თუ დავკმაყოფილებით (8) მწკრივების პირველი ორი მიახლოებით, მაშინ სითხის სიჩქარის კომპონენტებისათვის მივიღებთ შემდეგ გამოსახულებებს:

$$\begin{aligned} v_r &= \frac{\omega a^2}{18m^3} R_e \left\{ -6m(e^{-m\eta} - 1)e^{-m\eta} - v_w R \left[(2 + 3m\eta)(2e^{-m\eta} - 1) - 2 \right] e^{-m\eta} \right\}, \\ v_{\phi} &= \frac{\omega a}{2} \left(2 + \frac{Rv_w}{v} \eta \right) e^{-m\eta}, \\ v_z &= v_w + \frac{a^2}{18m^4} \left\{ -6m\omega R R_e (e^{-m\eta} - 1)^2 + v_w R_e^2 \left[-7(e^{-m\eta} - 1)^2 + 6m\eta(e^{-m\eta} - 1)e^{-m\eta} \right] \right\}, \end{aligned}$$

წნევა კი განისაზღვრება შემდეგი ტოლობის საფუძველზე

$$p = p_0 + v\omega\rho \left(\frac{g^2}{2} - \frac{1}{\sqrt{R_e}} \frac{dg}{d\eta} \right),$$

სადაც $g = \frac{1}{\sqrt{\nu\omega}} \left\{ \nu_w + \frac{a^2}{18m^4} \left\{ -6m\omega R R_e (e^{-m\eta} - 1)^2 + \nu_w R_e^2 \left[-7(e^{-m\eta} - 1)^2 + 6m\eta(e^{-m\eta} - 1)e^{-m\eta} \right] \right\} \right\}$, p_0 კი წნევის

საწყისი მნიშვნელობაა დისკოზე.

თუ გამოვიტვლით სითხეში დისკოზე მოქმედი ბრუნვის წინააღმდეგობის ძალების მომენტს, მივიღებთ შემდეგ გამოსახულებას:

$$M = \frac{\pi R^2 a}{4} (2m\omega R - \nu_w R_e).$$

დასკვნა

ჩვენ მიერ ამოცანის შესასწავლად გამოყენებული მიმდევრობითი მიახლოების მეთოდის (გრინის ფუნქციისა და მცირე პარამეტრის მეთოდი), საშუალებით შესაძლებელია საძიებელი ფუნქციების განსაზღვრა ნებისმიერი მიახლოებით. ასევე უნდა

აღინიშნოს, რომ მიღებულ შედეგებზე დაყრდნობით აღვილი შესაძენეია დისკოს ბრუნვით წარმოქმნილ სითხის დინების ფიზიკურ მახასიათებლებზე ბრუნვის კუთხური სიჩქარის, ბრუნვის პარამეტრის, გაჟონვის სიჩქარის, რეინოლდსის რიცხვისა და დისკოს რადიუსის გავლენა.

ლიტერატურა

1. Kármán, T. von. (1921). Über laminare und turbulente Reibung. *Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik (ZAMM)*, 1(4), 233–235.
2. Cochran, W. G. (1934). The flow due to a rotating disk. *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, 30(3), 365–375.
3. Benton, E. R. (1966). On the flow due to a rotating disk. *Journal of Fluid Mechanics*, 24(4), 781–800.
4. Stuart, J. T. (1954). On the effects of uniform suction on the steady flow due to a rotating disk. *Quarterly Journal of Mechanics and Applied Mathematics*, 7, 446–449.
5. Kuiken, H. K. (1971). The effect of normal blowing on the flow near a rotating disk of infinite extent. *Journal of Fluid Mechanics*, 47(4), 789–798.
6. Ockendon, H. (1972). An asymptotic solution for steady flow above an infinite rotating disk with suction. *Quarterly Journal of Mechanics and Applied Mathematics*, 25, 291–301.
7. Rao, U. S., & Gupta, A. S. (1966). Hydromagnetic flow due to a rotating disc subjected to large suction. *Journal of the Physical Society of Japan*, 21, 2390.
8. Sharikadze, J. V. (2003). *Approximate methods for solving some basic mathematical problems of magnetohydrodynamics* (Doctoral dissertation). [In Russian].
9. Jikidze, L., Tsutskiridze, V., & Elerdashvili, E. (2021). Nonstationary flow of conducting fluid squeezed between two parallel rotating porous disks taking into account the weak magnetic field and heat transfer with variable suction velocity. *Building. Scientific-Technical Journal*, 2(58), 99–103. [In Georgian].
10. Tsutskiridze, V., Jikidze, L., Elerdashvili, E., & Tsutskiridze, M. (2022). Magnetohydrodynamic channel flow under time-dependent pressure gradient. *Problems of Mechanics: International Scientific Journal*, 4(89), 43–49.

11. Jikidze, L., Tsutskiridze, V., & Elerdashvili, E. (2023). Stationary problem of rotation of a circular porous plate in an electrically conductive fluid for large values of the suction velocity with heat transfer with respect to a weak magnetic field and Joule heat. *Georgian Technical University: Collection of Scientific Works*, 3(529), 123–132. [In Georgian].
12. Slezkin, N. A., & Targ, S. M. (1946). The generalized equations of Reynolds. *Reports of the Academy of Sciences of the USSR*, 54(3), 205–208. [In Russian].
13. Targ, S. M. (1951). *Basic problems of the theory of laminar flows*. Moscow-Leningrad. [In Russian].

UDC 008

SCOPUS CODE 2604

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2025-3-344-351>

Stationary Problem of the Flow of a Conductive Fluid Generated by the Rotation of a Circular Porous Disk Taking into Account the Magnetic Field

Levan Jikidze	Department of Engineering Mechanics and Technical Expertise of Construction, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 68b, M. Kostava str. E-mail: l.jikidze@gtu.ge
Varden Tsutskiridze	Department of Mathematics, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 77, M. Kostava str. E-mail: b.tsutskiridze@mail.ru
Liana Kvartskhava	Department of Engineering Mechanics and Technical Expertise of Construction, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 68b, M. Kostava str. E-mail: kvartskhavaliana01@gtu.ge

Reviewers:

T. Kvitsiani, Professor, Faculty of Civil Engineering, GTU

E-mail: tarielk@mail.ru

Z. Tsitskishvili, Associate Professor, Faculty of Civil Engineering, GTU

E-mail: z.tsitskishvili@gtu.ge

Abstract. The paper studies the stationary problem of the flow generated by the rotation of a circular porous disk in an electrically conductive fluid, taking into account a uniform magnetic field for a constant value of the suction velocity of the same fluid in the disk.

To study the problem, the method of successive approximations, known as the Green's function and the small parameter method, is used. In the considered case, the small parameter is the Reynolds number. The system of nonlinear differential equations with partial derivatives of the Navier-Stokes equation of the motion of an electrically

conductive fluid in a magnetic field is reduced to a system of ordinary nonlinear differential equations using generalized Karman insertions, the solutions of which are sought in the form of infinite series for small values of the Reynolds number.

The solution of the problem using the Green's function is reduced to the solution of integral-differential equations. The Green's function of the corresponding problem is constructed and recurrent formulas are obtained, by means of which it is possible to calculate solutions in any approximation. The first two approximations are calculated explicitly.

The physical characteristics of the fluid flow are calculated and the expressions for the components of the fluid velocity are obtained, as well as the expression for the pressure distribution on the disk. The moment of resistance to the rotation of the plate is calculated.

Keywords: Differential equation; Electrical conductivity; Flow; Green's function; Karman insertions; Magnetic field; Porosity; Suction velocity.

განხილვის თარიღი 19.03.2025

შემოსვლის თარიღი 25.03.2025

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 25.09.2025