دوقطبی نیرو در شاره نامتعارف

حصاری، داوود ؛ ملکی، فروه؛ نجفی، علی
دانشکده فیزیک دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان ، بلوار پروفسور ثبوتی ، زنجان

مقدمه

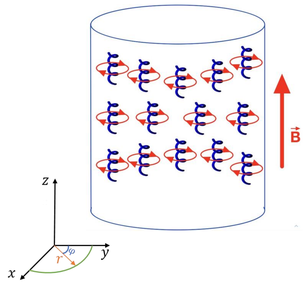
اگر تقارن وارونی زمان در یک شاره بشکند، تانسور ویسکوزیته‌ی این شاره می‌تواند دارای قسمت پادمتقارن شود که به آن ویسکوزیته‌ی نامتعارف گفته می‌شود. مثل اثر هال که نتیجه طبیعی جریان عبوری از رسانا است. بارها تقریباً به صورت مستقیم حرکت می‌نمایند. اما وقتی یک میدان مغناطیسی عمود اعمال شود، مسیر آن‌ها منحرف می‌شود و روی یکی سطوح ماده تجمع می‌کنند و باعث شکست تقارن وارونی زمان می‌شوند. شاره‌هایی که دارای ویسکوزیته‌ی نامتعارف هستند دارای اثرات منحصر به فردی هستند که هدف ما در این مقاله بررسی اثرات ناشی از نیروی نقطه‌ای و دوقطبی در یک شاره با ویسکوزیته‌ی نامتعارف است. بدین منظور با حل معادله استوکس و سپس محاسبه تابع گرین این شاره برای حالت‌های خاص میدان سرعت شاره را برای نیروی نقطه‌ای و نیروی دوقطبی می‌توان محاسبه کرد و مشاهده کرد که در حضور ضرایب ویسکوزیته‌ی نامتعارف میدان سرعت شاره هم برای نیروی نقطه‌ای و هم برای نیروی دو قطبی دارای مؤلفه جانبی است و باعث ایجاد چرخش حول راستای نیروی اعمال شده در این سیستم می‌شود[۴].

روش

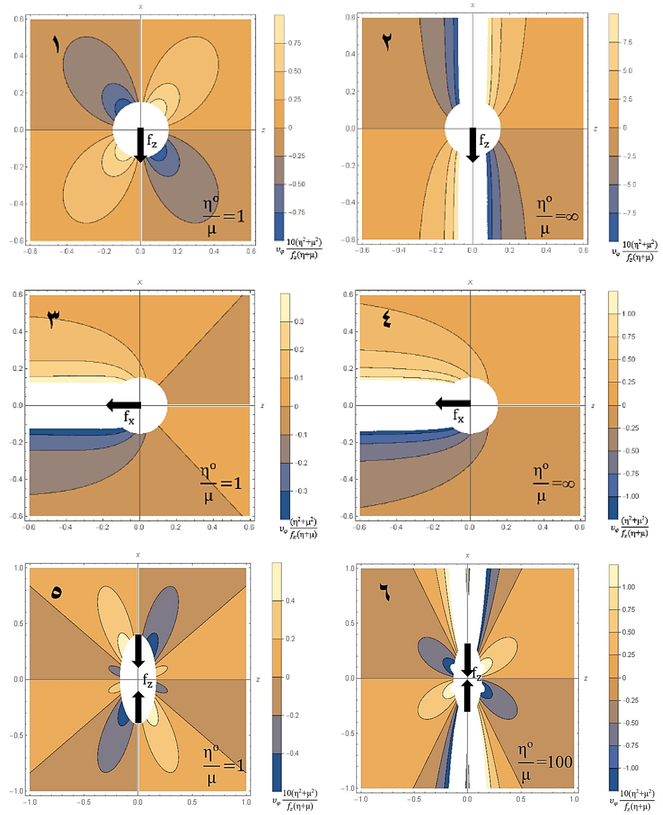
در این مقاله یک شاره نامتعارف و کایرال متشکل از ذرات چرخان، در یک میدان‌مغناطیسی که حول خود می‌چرخند، را در نظر می‌گیریم(شکل ۱)[۴-۱]. در این شاره با توجه به وجود میدان مغناطیسی خارجی، تقارن وارونی زمان هم در ابعاد میکروسکپیک و هم در ابعاد ماکروسکوپیک می‌شکند[۷-۱]. با استفاده از یک نمایش کاهش پذیر و با در نظر گرفتن تنها دو ضریب ویسکوزیته‌ی متعارف برشی و حجمی μ و ζ و دو ضریب ویسکوزیته‌ی نامتعارف η_1^o و η_2^o حضور دارند[۴]. با فرض $\eta=\eta_1^o=-2\eta_2^o$ و در نظر گرفتن نیرو نقطه‌ای در دو راستای z و x و یک نیروی دوقطبی که در راستای z قرار دارد به سه میدان شارشی جانبی، v_φ، برای یک شاره نامتعارف تحت تاثیر نیروی نقطه‌ای و دوقطبی دست می‌یابیم.

$$v_\varphi=\frac{f_z}{4\pi\eta^2 r}\left(\frac{z}{\gamma}-\frac{\mu z}{\lambda}\right)(\eta\cos(\varphi)-\mu\sin(\varphi)) \qquad (۱)$$

$$v_\varphi=\frac{f_x}{4\pi\eta^2 r}\left[\frac{\left(1-\frac{\mu z}{\lambda}\right)\left(\left(\eta^2+\mu^2\right)\sin(\varphi)\cos(\varphi)-\eta\mu\right)}{\sqrt{\eta^2+\mu^2}}+\left(1-\frac{z}{\gamma}\right)(\eta-\mu\sin(\varphi)\cos(\varphi))\right] \qquad (۲)$$



شکل ۱: یک شاره نامتعارف متشکل از ذرات کایرال که در یک میدان مغناطیسی، حول خود میچرخد و دارای ویسکوزیته نامتعارف است.



شکل ۲: یک شاره نامتعارف که تحت تاثیر نیروهای مختلف برای دو حالتی که نسبت ضرایب ویسکوزیته متعارف و نامتعارف برابر باشد و همچنین حالتی که ضریب ویسکوزیته نامتعارف خیلی بزرگتر باشد قرار گرفته است.(۱,۲): شاره تحت تاثیر نیرو نقطه‌ای در راستای z است. (۳,۴): شاره نامتعارفی که تحت تاثیر نیرو نقطه‌ای در راستای x است. (۵,۶): شاره تحت تاثیر نیرو قطبی در راستای z است.

$$v_\varphi=\frac{df_z}{4\pi\eta^2}\left(-\frac{z^2}{\gamma^3}+\frac{1}{\gamma}+\frac{z^2\mu^3}{\lambda^3}-\frac{\mu}{\lambda}\right)(\eta\cos(\varphi)-\mu\sin(\varphi)) \qquad (۳)$$

$$\lambda=\sqrt{r^2\eta^2+\gamma^2\mu^2}\,,\quad \gamma=\sqrt{r^2+z^2}$$

نتایج

همبستگی بین چرخش و فشار و وجود شارش سمتی در نیروی نقطه‌ای از نشانه‌های مهم شاره‌های نامتعارف است[۲،۶]. در این مقاله میدان سرعت یک دوقطبی نیرو را محاسبه کردیم. علاوه بر این در این تصاویر یکی از محکم‌ترین دلایل حضور ویسکوزیته نامتعارف، یعنی شکست تقارن‌وارونی زمان به وضوح دیده می‌شود. چون از ابتدا فرض کردیم یک میدان مغناطیسی این شاره را می‌سازد و در صورت وارونی زمان این میدان ثابت می‌ماند.

تحلیل نتایج

دمبلی متشکل از دوکره که توانایی چرخش دارند و با میله‌ای با ضخامت ناچیز به هم متصل شده‌اند فرض کنید. با استفاده از محاسبات دو قطبی نیرو دیده می‌شود که در حالت باز و بسته شدن دمبل تمایل دارند بصورت چپگرد نسبت به راستای نیروی اعمالی، عمل کنند.

مراجع

[1] Soni, Vishal, et al. "The odd free surface flows of a colloidal chiral fluid." Nature Physics 15.11 (2019): 1188-1194.

[2] Avron, J. E. "Odd viscosity." Journal of statistical physics 92.3 (1998): 543-557.

[3] Han, Ming, et al. "Statistical mechanics of a chiral active fluid." arXiv preprint arXiv:2002.07679 (2020).

[4] Khain, Tali, et al. "Stokes flows in three-dimensional fluids with odd and parity-violating viscosities." Journal of Fluid Mechanics 934 (2022).

[5] Banerjee, Debarghya, et al. "Odd viscosity in chiral active fluids." Nature communications 8.1 (2017): 1-12.

[6] Kogan, Eugene. "Lift force due to odd Hall viscosity." Physical Review E 94.4 (2016): 043111.

[7] Berkowitz, Rachel. "An odd fluid shows its inner workings." Physics today 72.11 (2019): 17-18.

Force Dipole in Odd Fluids

Hesari, Davood; Maleki, Forouh; Najafi, Ali

Department of Physics, Institute for Advanced Studies in Basic Sciences (IASBS), Prof. Yousef Sobouti Blvd., Zanjan

Introduction

When time-reversal symmetry in a fluid breaks, the viscosity tensor of this fluid can be divided into two parts, and according to Onsager's reciprocal relations, the viscosity tensor of this fluid can have an anisotropic part that is called odd viscosity. Fluids that have an odd viscosity have unique effects. The aim of this paper is to investigate the effects of point and dipole forces on a fluid with odd viscosity. For this purpose, by solving the Stokes equation and then deriving the Green's function of this fluid for specific states, calculated the fluid velocity field for point and dipole forces.

Method

In this paper, we consider an odd fluid consisting of rotating particles in a magnetic field that rotates around itself (Figure 1) [1-4]. In such fluids, due to the presence of an external magnetic field, the time-reversal symmetry is broken in both microscopic and macroscopic dimensions [1-7]. We consider only two conventional shear and bulk viscosity coefficients μ and ζ and two odd viscosity coefficients η_1^o and η_2^o are present [4]. We calculated three lateral flow fields, v_φ, by assuming $\eta = \eta_1^o = -2\eta_2^o$ and considering the point force in both z and x directions and a dipole force in the z-direction for an odd fluid under the influence of point and dipole forces.

$$v_\varphi = \frac{f_z}{4\pi\eta^2 r}\left(\frac{z}{\gamma}-\frac{\mu z}{\lambda}\right)(\eta\cos(\varphi)-\mu\sin(\varphi)) \quad (1)$$

$$v_\varphi = \frac{f_x}{4\pi\eta^2 r}\left[\frac{\left(1-\frac{\mu z}{\lambda}\right)\left(\left(\eta^2+\mu^2\right)\sin(\varphi)\cos(\varphi)-\eta\mu\right)}{\sqrt{\eta^2+\mu^2}}+\left(1-\frac{z}{\gamma}\right)(\eta-\mu\sin(\varphi)\cos(\varphi))\right] \quad (2)$$

$$v_\varphi = \frac{df_z}{4\pi r\eta^2}\left(-\frac{z^2}{\gamma^3}+\frac{1}{\gamma}+\frac{z^2\mu^3}{\lambda^3}-\frac{\mu}{\lambda}\right)(\eta\mathrm{Cos}(\varphi)-\mu\mathrm{Sin}(\varphi)) \quad (3)$$

$$\lambda = \sqrt{r^2\eta^2+\gamma^2\mu^2}\,, \quad \gamma = \sqrt{r^2+z^2}$$

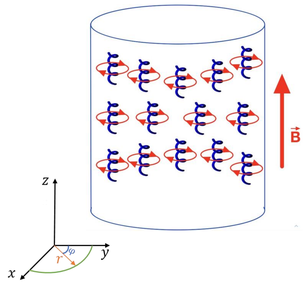
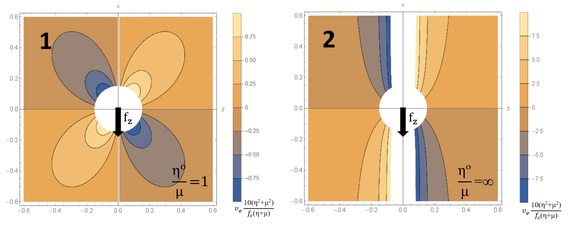


Figure 1: An odd fluid consisting of chiral particles that rotate around itself in a magnetic field and has an odd viscosity.



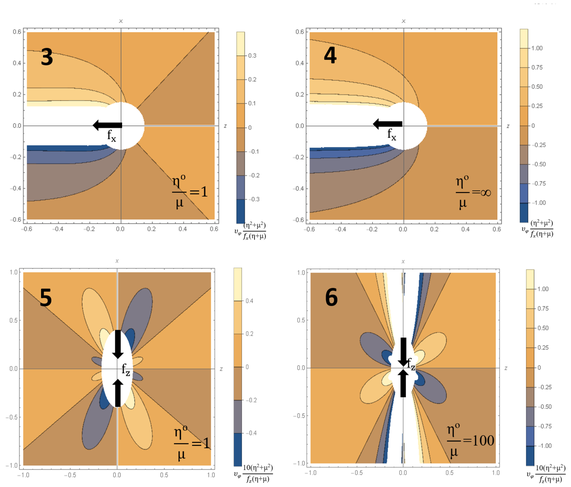


Figure 2: An odd fluid that is affected by different forces for two states where the ratio of usual and odd viscosity coefficients is equal and also a state where the odd viscosity coefficient is much larger. (1,2): The fluid is affected by the point force in the z-direction. (3,4): An odd fluid that is affected by a point force in the x-direction. (5,6): Fluid is influenced by dipole force in the z-direction.

Results

The correlation between shear stress and pressure and azimuthal flux is a sight in the point force is one of the signs of odd fluids [2,6]. We calculate the velocity field of a force dipole. Therefore, in Figure 2, one of the reasons for the presence of odd viscosity, namely the failure of the time-reversal symmetry, can be seen. Because we assumed from the beginning that a magnetic field forms this flux, and if reversing the time, this field will remain constant.

Discussion

Suppose a dumbbell consists of two spheres that can rotate and connected by a rod of small thickness. Using dipole calculations (Eq3), We can see that when the dumbbell is open and close, they tend to act left-handed with the direction of the applying force.

References

[1] Soni, Vishal, et al. "The odd free surface flows of a colloidal chiral fluid." Nature Physics 15.11 (2019): 1188-1194.

[2] Avron, J. E. "Odd viscosity." Journal of statistical physics 92.3 (1998): 543-557.

[3] Han, Ming, et al. "Statistical mechanics of a chiral active fluid." arXiv preprint arXiv:2002.07679 (2020).

[4] Khain, Tali, et al. "Stokes flows in three-dimensional fluids with odd and parity-violating viscosities." Journal of Fluid Mechanics 934 (2022).

[5] Banerjee, Debarghya, et al. "Odd viscosity in chiral active fluids." Nature communications 8.1 (2017): 1-12.

[6] Kogan, Eugene. "Lift force due to odd Hall viscosity." Physical Review E 94.4 (2016): 043111.

[7] Berkowitz, Rachel. "An odd fluid shows its inner workings." Physics today 72.11 (2019): 17-18.