Philosophy of Science, Institute for Humanities and Cultural Studies (IHCS)
Biannual Journal, Vol. 12, No. 1, Spring and Summer 2022, 181-203
Doi: 10.30465/ps.2022.41303.1607

Aristotle and Mach's principle

Sayyed Saied Mirahmadi*, Seyed Amir Sekhavatian**

Majid Mohsenzadeh Ganji***

Abstract

Since Aristotle denied the possibility of a space independent of bodies (absolute space), it is clear that in his view, the motion relative to absolute space (absolute motion) is impossible. But, has Aristotle been able to provide a consistent explanation of motion without using the concepts of absolute space and motion—what has not been achieved in Einstein's general relativity? Is his explanation of motion consistent with Mach's principle (relativity of motion)? To answer these questions, it is necessary to examine the relationship between Aristotle's theory of motion and Mach's principle. This paper demonstrates that Aristotle's explanation of 'motion' does not satisfy Mach's principle. Moreover, it becomes clear that despite Aristotle's attempt to remove the concepts of absolute space and motion from physics, his theory is not entirely devoid of these absolute concepts. In other words, it is demonstrated that Aristotle's theory of motion suffers from an internal inconsistency in the case of rotatory motion. In this study the library data gathered is analyzed based on the descriptive-analytical methodology.

* PhD student, philosophy of physics, Baqir al-Olum University, Qom, Iran (I. R.) (Corresponding Author), mirahmadi@bou.ac.ir

** Department of theology and Islamic studies, Faculty of Humanities, Qom Branch, Islamic Azad University, Qom, Iran (I.R.), sekhavatian@bou.ac.ir

*** Department of Physics, Faculty of Basic Sciences, Qom Branch, Islamic Azad University, Qom, Iran (I. R.), ma.mohsenzadeh@iau.ac.ir

Date received: 2022/05/09, Date of acceptance: 2022/08/09

Copyright © 2018, This is an Open Access article. This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License. To view a copy of this license, visit http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/ or send a letter to Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA 94042, USA.

Keywords: Aristotle, place, principle of relativity of motion, Mach's principle, absolute space, absolute motion.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

فلسفهٔ علم، پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
دوفصل‌نامهٔ علمی (مقالهٔ علمی ـ پژوهشی)، سال ۱۲، شمارهٔ ۱، بهار و تابستان ۱۴۰۱، ۱۸۳ - ۲۰۳

ارسطو و اصل ماخ

سید سعید میراحمدی*

سید امیر سخاوتیان، مجید محسن‌زاده گنجی*****

چکیده

از آنجا که ارسطو امکان وجود فضایی مستقل از اجسام (فضای مطلق) را نفی کرده است، بنابراین روشن است که به عقیده وی، حرکت نسبت به فضای مطلق (حرکت مطلق) امری غیرممکن است. اما آیا ارسطو توانسته است بدون استفاده از مفاهیم فضا و حرکت مطلق، تبیینی سازگار از حرکت ارائه کند—آن چه که در نظریه نسبیت عام نیز محقق نشده است؟ آیا تبیین ارائه شده از سوی وی برای حرکت با اصل ماخ (نسبی بودن حرکت) سازگار است؟ جهت پاسخ به این پرسش‌ها ضرورت دارد تا نسبت نظریهٔ ارسطو با اصل ماخ بررسی گردد. این نوشتار نشان می‌دهد که تبیین ارسطو از «حرکت»، اصل ماخ را ارضا نمی‌کند. به علاوه، روشن می‌شود که علی‌رغم تلاش ارسطو جهت حذف مفاهیم فضا و حرکت مطلق از فیزیک، نظریهٔ ایشان به طور کامل عاری از این مفاهیم نیست. به عبارت دیگر، نشان داده می‌شود که نظریهٔ ارسطو در تبیین حرکت وضعی (چرخشی)، دچار ناسازگاریِ درونی است. پژوهش حاضر، داده‌ها را به صورت کتابخانه‌ای جمع‌آوری و به صورت توصیفی-تحلیلی بررسی می‌نماید.

* دانشجوی دکتری فلسفه فیزیک، دانشگاه باقرالعلوم علیه السلام، قم، ایران(نویسندهٔ مسئول)، mirahmadi@bou.ac.ir

** استادیارگروه الهیات و معارف اسلامی، دانشکده علوم انسانی، واحد قم، دانشگاه آزاد اسلامی، قم، ایران، sekhavatian@bou.ac.ir

*** دانشیار گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، واحد قم، دانشگاه آزاد اسلامی، قم، ایران، ma.mohsenzadeh@iau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۱۹، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۱۸

Copyright © 2018, This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International, which permits others to download this work, share it with others and Adapt the material for any purpose.

کلیدواژه‌ها: ارسطو، مکان، خلأ، زمان، اصل نسبی بودن حرکت، اصل ماخ، فضای مطلق، حرکت مطلق.

۱. مقدمه

مسأله «نسبی یا مطلق بودن حرکت» (absolute or relative motion) از دیرباز در بین متفکرین مطرح بوده است. نظریه‌های ارائه شده توسط لوسیپوس، دموکریتوس و نیوتن در باب «حرکت»، بر فرضِ پذیرشِ وجودِ فضایی مستقل و ذاتاً خالی از جسم به عنوان بستری برای تحقق حرکت واقعی اجسام استوار است که اصطلاحاً به آن فضایِ مطلق (absolute space) گفته می‌شود (Newton, 1999: 54). در این دیدگاه، مکانِ مطلق یکِ جسم (absolute place) به معنای بخشی از فضای مطلق است که توسط جسم اشغال می‌شود و «حرکت مطلق» (absolute motion) یعنی «تغییر موقعیت یک جسم از یک مکانِ مطلق به مکانِ مطلق دیگر» (Newton, 1999: 55).

فضا و حرکت مطلق نیوتنی، از همان ابتدا توسط برخی از فلاسفه و فیزیک‌دانان مانند لایبنیتز (Alexander, 1977)، هویگنس (Stan, 2016) و برکلی (Berkeley, 1988; Suchting, 1961)، مورد نقد و انکار قرار گرفت. این افراد، بر خلاف نیوتن، نتوانستند یک صورتبندی ریاضیاتیِ کارآمد برای ایده‌های خود ارائه دهند، اما به هر حال، در تلاش بودند تا بدون استفاده از مفهوم فضا و حرکت مطلق، تبیینی نسبی از حرکت و سکون ارائه دهند. در این دیدگاه که حرکت امری نسبی تلقی می‌شود، به طور کلی، حرکت (یا سکون) اجسام این گونه تعریف می‌شود: «تغییر (یا عدم تغییر) فاصله نسبی اجسام از یکدیگر در طول زمان». با توجه به این تعریف، روشن است که حرکت انتقالی یا چرخشیِ صلب‌گونهٔ کل عالم، بی‌معنا و غیر ممکن است، در حالی که در دیدگاه نخست، که فضای مطلق پذیرفته شده و در نتیجه، حرکت، امری مطلق در نظر گرفته می‌شود، چنین حرکتی امری کاملاً ممکن است. این مطلب نشان می‌دهد که مسأله نسبی یا مطلق بودن حرکت، مسأله‌ای صرفاً فلسفی و بدون کاربردهای فیزیکی نیست.

در اواخر قرن نوزدهم، ماخ به طور گسترده و جدی مفاهیم مطلقِ فضا و حرکت نیوتنی را به چالش کشید و برای حذف آنها از فیزیک راه‌کارهایی پیشنهاد داد (Mach, 1960). علی‌رغم این که نیوتن، وجود فضای مطلق را برای تبیین پدیده‌های فیزیکی شرطی لازم

می‌دانست و اثر لختی را نیز در نسبت با آن تعریف می‌کرد، ماخ با انتقاد از به کارگیری «فضای مطلق»، اثر لختی یک جسم را ناشی از اندرکنش آن جسم با سایر اجسام موجود در کیهان دانست.

با دنبال کردن ایده‌های ماخ، اینشتین امیدوار بود تا در قالب نظریه نسبیت عام، بتواند مفاهیم فضا و حرکت مطلق را به کلی کنار بگذارد (Einstein, 1916)، اما خیلی زود روشن شد که وی در این کار موفق نبوده است و مفاهیم فضا و حرکت مطلق (فضا–زمان مطلق) همچنان در نظریه نسبیت عام حضور دارد (Kretschmann, 1917; Jammer, 1993: xvi; Mashhoon, 1994; Lichtenegger et al., 2008; Brans et al., 1961; Taub, 1951). به طور مثال، گودل پاسخ‌هایی از معادلات میدان نسبیت عام به دست آورد که در آن، عالم به عنوان یک کل، در حال چرخش نسبت به یک چارچوب لخت موضعی بود (Gödel, 1949). پس قطعاً هنوز یک مفهوم ذاتی و مطلق از چرخش در نسبیت عام وجود دارد. بنابراین تا آنجا که به نسبیت عام مربوط می‌شود، یک زمینِ غیرچرخان که توسط یک پوستهٔ ستاره‌ای چرخان احاطه شده است و یک زمینِ چرخان که توسط یک پوستهٔ ستاره‌ای غیرچرخان احاطه شده است، وضعیت‌های متمایزی هستند (Earman, 1970).

در دهه‌های اخیر نشان داده شده است که با پذیرش نیروهای گرانشی و الکترودینامیکیِ وبر[1] به عنوان اصل‌موضوع، می‌توان نظریه‌ای فیزیکی ارائه کرد که علاوه بر سازگاری با اصل ماخ (نسبی بودن حرکت)، توانمندی آن در تبیین پدیده‌های طبیعی نیز، از بعضی جهات، برتر از فیزیک کلاسیکِ پیش‌نسبیتی باشد (Assis, 2017). اما این نظریه که به نام «مکانیک نسبی» (relational mechanics) شناخته می‌شود، مانند گرانش نیوتنی و نظریه گرانش هویل–نارلیکار (Hoyle et al., 1964)، بر مفهوم «کُنش آنی از راه دور» (instantaneous action at a distance) استوار است. بنابراین این سؤال که در این نوشتار به آن نمی‌پردازیم از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است که آیا ارائهٔ نظریه‌ای فیزیکی که در تبیین پدیده‌ها حداقل به اندازه فیزیک کلاسیک توانمند بوده و در عین حال با اصل ماخ (نسبی بودن حرکت) و مفهوم «کُنش تدریجی (غیر آنی)» سازگار باشد، ممکن است؟ راه‌کارهای لازم جهت دست‌یابی به چنین نظریه‌ای چیست؟

برخی معتقدند که مفهوم فضای مطلق، به معنای ظرفی مستقل که همهٔ اجسام در آن قرار دارند، بعد از دورهٔ رنسانس شکل گرفته است (Jammer, 1993: xvi, 2). اما به عقیدهٔ

اینشتین و برخی دیگر، نظریهٔ اتمی قدما، که در آن اتم‌ها جدای از یکدیگر وجود دارند، ضرورتاً یک فضای مطلق را به عنوان پیش‌فرض پذیرفته بود، در حالی که مکتب تأثیرگذارترِ ارسطویی سعی داشت تا بدون استفاده از مفهوم فضای مستقل (مطلق) کار را به پیش ببرد (Jammer, 1993: xvi).

از آنجا که ارسطو امکان وجود فضایی مستقل از اجسام (فضای مطلق) را نفی کرده است (قسمت ۴)، بنابراین روشن است که به عقیده وی، حرکت نسبت به فضای مستقل (حرکت مطلق) امری غیرممکن است. اما آیا او توانسته است بدون استفاده از مفاهیم فضا و حرکت مطلق، تبیینی سازگار از حرکت ارائه کند—آن چه که در نظریهٔ نسبیت عام نیز محقق نشده است؟ آیا تبیین ارائه شده از سوی وی برای حرکت با اصل ماخ (نسبی بودن حرکت) سازگار است؟ جهت پاسخ به این پرسش‌ها، ابتدا در قسمت ۲، دیدگاه ارسطو درباره «حرکت» به اختصار بیان شده و سپس در قسمت ۳، توضیحی مختصر پیرامون عبارت «اصل ماخ» و معنای آن ارائه می‌شود. در قسمت ۴ ضمن بررسی این که آیا تبیین ارائه شده توسط ارسطو برای «حرکت»، با اصل ماخ (نسبی بودن حرکت) سازگار است یا خیر، سازگاری درونی نظریه ارسطو در باب حرکت نیز مورد بررسی قرار گرفته است. جمع‌بندی ما از مباحث مطرح شده، در قسمت ۵ ارائه می‌شود.

۲. حرکت و زمان در نگاه ارسطو

به نظر ارسطو، از چیزهایی که وجود دارند، برخی بالطبیعه (یا بالطبع) وجود دارند و برخی نیز از علت‌های دیگر به وجود آمده‌اند (Aristotle, Physics II.1 192^{b}8–10). به طور مثال، سقوط سنگ و یا بالا رفتن آتش، بالطبیعه (یعنی به سبب طبیعتشان) صورت می‌گیرد پس اموری «طبیعی» هستند و از علت‌های دیگر به وجود نیامده‌اند.[۲] طبیعت، در نگاه ارسطو، «یک اصل، منشأ یا علتِ متحرک بودن و ساکن بودن است در چیزی که آن به طور اولی متعلق به آن است، به سبب خودش و نه به طور عرضی» (Aristotle, Physics II.1 192^{b}20–23). و یا در جایی دیگر به طور مختصر چنین می‌گوید: «طبیعت [– یک شیء]، یک اصل یا منشأِ حرکت و تغییر [– آن] است» (Aristotle, Physics III.1 200^{b}10–15). این بدان معناست که هنگامی که شیئی بر طبق طبیعت خود حرکت می‌کند و یا ساکن است، استناد به طبیعتِ آن، می‌تواند به عنوان توضیحی برای آن پدیده به کار آید (Bodnar, 2018).

ارسطو در ابتدای کتاب سوم از طبیعیاتش، اهمیت موضوع «حرکت» را متذکر شده و بیان می‌کند که اگر معنای «حرکت» ناشناخته بماند، معنای «طبیعت» نیز ناشناخته خواهد ماند (Aristotle, Physics III.1 $200^{b}14$–15). وی در ابتدای همین کتاب، با طرح این احتمال که «مکان» (place[3])، «خلأ» (void) و «زمان» (time) از شرایط لازم حرکت هستند و همچنین با طرح این گمان که «حرکت» به آن دسته از چیزهایی تعلق دارد که «پیوسته»اند و بیان این که پیوستگی نیز با مفهوم «نامتناهی» پیوندی ناگسستنی دارد، کار خود را با تحقیق در معنای «حرکت» و «نامتناهی» شروع کرده و در کتاب چهارم، به تحقیق درباره معانی مفاهیم «مکان»، «خلأ» و «زمان» و بررسی نسبت آنها با «حرکت» پرداخته است. در کتاب‌های پنجم تا هشتم، ارسطو به ترتیب به بحث در مورد اقسام حرکات، پیوستگی حرکت، علّت حرکت و جاودانگی حرکت، پرداخته است.

تعریف ارسطو از «حرکت» چنین است: «فعلیت یافتن آن چیزی که بالقوه است از حیث قوه» (Aristotle, Physics III.1 $201^{a}1$–$201^{b}5$) و به اعتقاد وی، «حرکت»، تغییراتِ پیوسته در مکان (place)، کمّ (quantity) و کیف (quality) را شامل می‌شود (Aristotle, Physics V.1,2). ارسطو بین «حرکت» و «زمان» تمایز قائل می‌شود؛ چرا که به اعتقاد وی

> تغییر [یا حرکت] گاهی تندتر و گاهی کُندتر است، در حالی که زمان چنین نیست؛ به دلیل این که تند و کُند به وسیله زمان تعریف می‌شوند (تند یعنی [صفتِ] شیئی که در زمانِ کمتر، مسافتِ بیشتری می‌پیماید و کُند یعنی [صفتِ] شیئی که در زمانِ بیشتر، مسافتِ کمتری می‌پیماید)، اما زمان به وسیله زمان تعریف نمی‌شود. ... بنابراین به طور آشکار، زمان، [همان] حرکت نیست (در حال حاضر نیاز نیست که بین تغییر و حرکت تمایز قائل شویم) (Aristotle, Physics IV.10 $218^{b}10$–20).

وی بلافاصله به پیوند زمان با حرکت نیز اشاره می‌کند: «اما زمان، بدون [وجودِ] تغییر نیز وجود ندارد» (Aristotle, Physics IV.11 $218^{b}20$–25). بنابراین به عقیده ارسطو: «زمان، نه حرکت است و نه مستقل از حرکت» (Aristotle, Physics IV.11 $218^{b}30$–$219^{a}2$)، بلکه، زمان، عدد و مقدار حرکت بر حسب قبل و بعد است (Aristotle, Physics IV.11 $220^{a}24$–26).

ارسطو جهت تعریف و تبیین یکنواخت‌بودنِ گذر زمان، به حرکت‌های یکنواخت متوسل شد اگر چه می‌دانست همان طور که اندازه‌گیری صحیح بازه‌های زمانیِ مختلف،

وابسته به وجود حرکتی یکنواخت است، شناسایی حرکت یکنواخت نیز جز با در دست داشتن معیاری برای گذرِ یکنواخت زمان (یعنی ساعتی دقیق)، ممکن نیست (Aristotle, Physics IV.12 220^{b}). با وجود این که او از این دورِ مصرّح (یعنی از یک طرف، انتخاب واحدی ثابت و تغییرناپذیر به عنوان معیاری برای اندازه‌گیری زمان که خود منتزع از حرکت و بنابراین متوقف بر آن است و از طرف دیگر، شناسایی یک حرکت یکنواخت در طبیعت که خود متوقف بر در اختیار داشتن زمان‌سنجی دقیق است) آگاه بوده است، اما چون به عقیده وی، «فلک» دارای حرکتی یکنواخت است[۴] (Aristotle, Physics IV.14 $223^{b}20$–25)، مشکل را حل شده تلقی کرده و نیازی به تفصیل بیشتر ندیده است. با توجه به درک رایج از زمان، به نظر می‌رسد که این مشکل هنوز به قوت خود باقی است. اگر واقعاً هیچ حرکتِ کاملاً مشخص و یا کاملاً یکنواختی در طبیعت وجود نداشته باشد (کما این که کیهان‌شناسی جدید یعنی نظریه انفجار بزرگ بر مبنای انبساط عالم، وجود حرکت یکنواخت ستارگان و کهکشان‌ها را فرض صحیحی نمی‌داند)، چگونه می‌توان واحدی ثابت و تغییرناپذیر برای اندازه‌گیری زمان انتخاب کرد؟

به نظر می‌رسد که پرسش‌هایی از این دست بوده که نیوتن را وادار نموده تا زمان را امر مطلقی بداند که در درون خود و به خودی خود و ناشی از طبیعت و ذات خود، بدون ارتباط با هیچ چیز خارجی، به طور یکنواخت جریان دارد (Newton, 1999: 54).[۵] بنابراین به اعتقاد نیوتن اگر هیچ حرکت یکنواختی در طبیعت وجود نداشته باشد، و یا به طور مثال، حتی در صورتی که سرعت همه حرکات موجود در عالم، دو برابر شود و یا این که حتی اگر همه حرکات متوقف شوند، باز هم زمان به طور یکنواخت به جریان خود ادامه می‌دهد. اگر چه این تعریفِ ارائه شده توسط نیوتن برای زمان، دچار دور مذکور نیست، اما علاوه بر غرابت معنایی آن، مشکل اندازه‌گیریِ زمان را در مقام عمل نیز مرتفع نمی‌کند (Newton, 1999: 54). روشن است که قانون اول نیوتن به این بیان که هر جسمی حالت سکون یا حرکت یکنواختِ مستقیم خود را حفظ می‌کند مگر این که با اعمال نیروهای وارده، مجبور به تغییر حالت خود شود (Newton, 1999: 62)، نیز نمی‌تواند راه‌حلی عملی برای رفع مشکل اندازه‌گیری زمان و دست‌یابی به حرکتی یکنواخت در طبیعت باشد؛ چرا که این سؤال هنوز باقیست که از کجا بدانیم که هیچ نیروی خالصی به جسم وارد نمی‌شود؟ در واقع، پی بردن به وجود نیروی اعمال شده به جسم از راه شناسایی غیر یکنواخت بودن

حرکت آن، بسیار آسان‌تر و کاربردی‌تر از پی بردن به یکنواخت بودن حرکت جسم از راه کنترل یا تشخیص عدم اعمال نیروی خالص به آن است.[۶]

به اعتقاد ارسطو، عالمِ سماوی با شروع از فلک ماه، شامل یک شبکه به هم پیوسته از کرات سماوی است که از اتر (عنصر پنجم) ساخته شده است که به دلیل طبیعتش مستعد حرکت چرخشی به دور مرکز عالم (یعنی، مرکز زمین) است. اگر حرکت این ماده به عنوان سنجش زمان در نظر گرفته شود، کرات سماوی لزوماً یکنواخت می‌چرخند. از آنجا که حرکت خالص یک کُره محاطی، حاصل‌جمعِ حرکت طبیعیش به علاوهٔ حرکت‌های طبیعی کُراتی است که در آنها محاط می‌باشد، و چون محورهای چرخش در حالت کلی با کمی زوایای متفاوت در نظر گرفته می‌شوند (به منظور توضیح این که چرا خورشید بر روی استوای سماوی حرکت نمی‌کند و سیارات و ماه دقیقاً بر روی مسیر حرکت خورشید نسبت به ستارگان ثابت حرکت نمی‌کنند)، حرکات ماه، سیارات، و حتی خورشید لزوماً یکنواخت نیستند. به هر حال، چون کُره ستارگان ثابت در هیچ کُره سماوی دیگری محاط نیست، حرکت ستارگان ثابت عملاً معیار سنجش همه حرکات است (Rynasiewicz, 2022).

علاوه بر حرکات طبیعی که ذکر شد، ارسطو حرکات دیگری که در آن، علت حرکت، عاملی خارجی است (نه طبعی) را تحت مفهوم حرکت غیرطبیعی (unnatural motion) یا حرکت قسری (forced, compulsory) دسته‌بندی کرده است. در حرکات قسری (مانند افزایش ارتفاع یک چرخ‌بال یا هواپیما از سطح زمین)، تداوم حرکت، نیازمند به إعمال مداوم و همراهی و تماس دائم علت خارجی است (Aristotle, Physics VII.1 $242^{b}55$–65). ارسطو در کتاب هفتم و بخشی از کتاب هشتم طبیعیات، در صدد اثبات این مطلب است که هر حرکتی علتی دارد که ضرورتاً به علتی نخستین منتهی می‌شود (Aristotle, Physics VIII.4, VII.1 $242^{b}70$–75). وی در متافیزیک، کتاب ششم، بیان می‌کند که همه حرکات (چه طبیعی و چه قسری) در نهایت به وسیله یک محرکِ نامتحرک (unmoved mover) تولید می‌شود که البته بحث بیشتر در مورد این علت، در دانشی غیر از ریاضی و فیزیک می‌بایست پی گرفته شود. این دانش، دانش نخستین یا علم اولی است (Aristotle, Metaphysics VI.1 $1026^{a}10$–20).

از آنجا که ارسطو امکان وجود فضای مستقل (مطلق) را نفی کرده است. بنابراین روشن است که وی در تلاش بوده است تا تبیینی غیرمطلق از حرکت ارائه کند. ماخ نیز مانند

ارسطو، فضا و حرکت مطلق را انکار کرده است. جهت بررسی میزان تطابق نظریه ارسطو با اصل ماخ در قسمت ۴، ابتدا در قسمت بعد توضیحی مختصر پیرامون اصل ماخ ارائه می‌شود.

۳. اصل ماخ (نسبی بودن حرکت)

ماخ در آثار خود به طور صریح به نقد و انکار مفاهیم مطلق فضا و زمان نیوتنی پرداخته و از نسبی بودن حرکت (هم از لحاظ سینماتیکی و هم از لحاظ دینامیکی) در فیزیک دفاع کرده است:

«همه جرم‌ها و همه سرعت‌ها و در نتیجه، همه نیروها نسبی هستند» (Mach, 1960: 279).

به اعتقاد وی، بر خلاف ادعای نیوتن و حامیانش، نیروهای کوریولیس و گریز از مرکز، نیروهایی مجازی نیستند بلکه دارای واقعیت‌های فیزیکی هستند. اظهارنظر ماخ در مورد آزمایش سطل نیوتن، دیدگاه وی را به وضوح نشان می‌دهد. این آزمایش در مورد سطلی پُر از آب است که با طنابی به سقف آویزان است. اگر سطل را بعد از این که آن را چندین دور به آرامی به دور خودش چرخاندیم، از حالت سکون رها کنیم، پیچش موجود در طناب باعث می‌شود که سطل شروع به چرخش کند. در ابتدا سطح آب درون سطل، افقی است. اما بعد از این که آب شروع به چرخش کرد، در سطح آن یک فرورفتگی ایجاد می‌شود. تحلیل نیوتن در مورد این پدیده چنین است: سطل بلافاصله پس از رها شدن در تمام مدت در حال چرخش است، اما در سطح آب زمانی فرورفتگی مشاهده می‌شود که خودش شروع به چرخش کند و زمانی هم که سطل از حرکت باز می‌ایستد، آب درون سطل همچنان به چرخش خود ادامه می‌دهد و دارای تقعر است. بنابراین مشاهده می‌شود که چرخش نسبی بدنهٔ سطل نسبت به آب درونِ آن هیچ تأثیری در ایجاد فرورفتگی ندارد. بنابراین آن چه که منشأ اثرِ چنین تقعری است، باید چیزی غیر از حرکت سطل باشد که همان چرخش مطلق آب در فضاست و فضا چیزیست که جدای از اجرام به خودی خود موجود است و حرکت اجرام در آن محقق می‌شود. به عقیده نیوتن اگر ضخامت بدنه سطل تا بی‌نهایت هم باشد مسأله تفاوتی نمی‌کند. ماخ مخالفت خود با نیوتن و طرفداران وی را این گونه بیان کرده است:

«سعی کن تا سطل نیوتن را ثابت نگهداری و فلک ستارگان ثابت را بچرخانی و سپس عدم وجود نیروهای گریز از مرکز را نشان دهی» (Mach, 1960: 279).

عبارت «اصل ماخ» (Mach's principle) بعد از استفاده توسط اینشتین در مقاله ۱۹۱۸م. درباره پایه‌های نظریه نسبیت عام (Einstein, 1918)، کاملاً مشهور شد و در گذر زمان به تدریج معانی مختلفی به خود گرفت که در برخی مواقع موجب ابهاماتی شده است (Bondi et al., 1997; Rindler, 1994). در ادامه به برخی از این معانی اشاره می‌شود.

۱.۳ معانی مختلف «اصل ماخ»

از آنجا که ماخ در میان نوشته‌هایش به طور واضح به یک اصل مشخص که مورد تأیید وی باشد اشاره نکرده است، تفاسیر متفاوتی از نوشته‌های وی صورت گرفته و عبارت «اصل ماخ» در معانی گوناگونی به کار رفته است (Barbour et al., 1995: 530) به طوری که برخی از آنها با یکدیگر ناسازگارند (Bondi et al., 1997: 121). برخی از این معانی عبارتند از (Bondi et al., 1997):

ماخ۰: عالم، آن گونه که به وسیله حرکتِ میانگین کهکشان‌های دوردست نمایان است[۷]، در ظاهر نسبت به چارچوب‌های لختِ موضعی نمی‌چرخد.

ماخ۱: ثابت گرانش نیوتن G، یک میدان دینامیکی است.

ماخ۲: یک جسم در یک جهانِ خالی از دیگر اجسام، لختی (اینرسی) ندارد.

ماخ۳: چهارچوب‌های لختِ موضعی، از حرکت کیهانی و توزیع ماده متأثر می‌شوند.

ماخ۴: عالم از لحاظ فضایی بسته است.

ماخ۵: انرژی، اندازه‌حرکت خطی و اندازه‌حرکت زاویه‌ای کل برای عالم، برابر با صفر هستند.

ماخ۶: جرم لختی، متأثر از توزیع سراسری و جهانی ماده است.

ماخ۷: اگر همه ماده را از بین ببری، دیگر فضایی وجود نخواهد داشت.

ماخ۸: $\Omega = 4\pi\rho GT^2$ یک عدد معین از مرتبه واحد است. (در اینجا، ρ چگالی متوسط ماده در عالم و T زمان هابل است).

ماخ۹: نظریه، شامل هیچ عنصر مطلقی نمی‌باشد.

ماخ۱۰: چرخش و انتقال صلب‌گونهٔ کلی یک سیستم، مشاهده‌پذیر نیست.

۲.۳ معنای برگزیده برای «اصل ماخ»

بنیادی‌ترین موضوعی که ماخ در باب «حرکت» به آن پرداخته است، مسأله «نسبی یا مطلق بودن حرکت» می‌باشد. انتقاد صریح وی نسبت به فضا و حرکت مطلق نیوتنی و تأکید وی نسبت به «نسبی بودن حرکت» کاملاً نقطهٔ ثقل مباحث وی را مشخص می‌کند (Mach, 1960). از این روست که در این مقاله، معنایِ «نسبی بودن حرکت» را برای «اصل ماخ» برگزیده‌ایم.

اصل ماخ (نسبی بودن حرکت): حرکت امری نسبی است و هیچ ناظر یا چارچوب ارجحی وجود ندارد (بنابراین جهت تبیین پدیده‌های طبیعی، به هیچ وجه از مفاهیم مطلق فضا و حرکت استفاده نمی‌شود).

توضیحات ارائه شده توسط اینشتین در مقاله‌ای که وی صورت‌بندیِ نهایی نظریه نسبیت عام را ارائه کرده است (Einstein, 1916) نیز نشان می‌دهد که او نیز معنای فوق برای «اصل ماخ» را به عنوان ایده‌ای اصیل به ماخ نسبت داده است.[۸]

۴. نسبی یا مطلق بودن حرکت در نگاه ارسطو

ارسطو در طبیعیات، کتاب چهارم، به موضوع «خلأ» پرداخته است. به بیان وی، کسانی که قائل به وجود خلأ هستند آن را نوعی مکان یا ظرف در نظر می‌گیرند که فرض می‌شود پُر است وقتی که جسمی در آن قرار دارد و خالی است وقتی که از جسم تهی باشد (Aristotle, Physics IV.6 $213^{a}16$–19). بنا بر این نقلِ ارسطو، روشن می‌شود که طبق دیدگاه قائلینِ به وجود خلأ، با پُر شدن خلأ، خلأ از بین نمی‌رود بلکه همواره در پس‌زمینهٔ عالم وجود دارد، البته گاهی جسم، مکانِ خاصی از آن را پُر می‌کند و گاهی نیز پُر نمی‌کند. این مطلب نشان می‌دهد که نظریه اتمیِ قدما در باب حرکت، بر پیش‌فرضِ وجود یک فضای مستقل از اجسام (فضای مطلق) استوار است.

به عقیده ارسطو، برای ابطال نظریهٔ قدما لازم است تا عدم وجودِ «فاصله‌ای (interval) متفاوت از اجسام» اثبات شود (Aristotle, Physics IV.6 $213^{a}30$–$213^{b}2$). وی بعد از بیان

دلایل خود در رد خلأ و همچنین بیان نتایج غیر قابل قبولی که از پذیرش خلأ حاصل می‌شود، نظر نهایی خود را چنین بیان می‌کند: «خلأ وجود ندارد، چه به صورت مجزّا [یا بالفعل] و چه به صورت بالقوّه» (Aristotle, Physics IV.6 $217^{b}20$–22).

تبیینی که ارسطو از «جسم» ارائه کرده است نیز پذیرش «فضای مستقل از اجسام (فضای مطلق)» از سوی وی را غیرممکن می‌سازد. در نگاه ارسطو، «جسم» به معنای جوهرِ ذو ابعاد ثلاثه است (Aristotle, Metaphysics VII.2 1028^{b}8–13; Physics III.5 204^{b}20) که خود، متشکل از دو جوهرِ مادّه و صورت می‌باشد (Ainsworth, 2020). تحققِ ذو ابعاد ثلاثه بودن، که به عنوان «فصل» (differentia) در تعریف جسم اخذ شده است، بدون تحقق جسم، ممکن نیست؛ چرا که فصل، در ضمنِ تحقق «نوعِ» (species) خود است که محقق‌شدنی است. به عنوان مثال اگر ناطقیت، فصلِ انسان باشد، تحقق ناطقیت در خارج، بدون وجود و تحققِ خارجی انسان، ممکن نیست. در واقع، با تحقق انسان است که ناطقیت نیز محقق می‌شود. این مطلب در مورد تمام فصولی که منحصر در نوع خود هستند صادق است و به عقیده ارسطو «ذو ابعاد ثلاثه بودن» نیز همین گونه است. از همین جا روشن می‌شود که «چرا ارسطو تحقق موجودی به نام فضایی مستقل از جسم (مطلق) را محال می‌داند؟»؛ زیرا فضا به معنای ابعاد ثلاثه، فصل جسم است و در نتیجه، تحقق آن بدون تحقق جسم غیر ممکن است.[۹]

به اعتقاد ارسطو، عالمِ اجسام مادی، چیزی جز اجسام (جواهر ذو أبعاد ثلاثه) و اعراضِ وابسته به آنها نیست. از آنجا که ارسطو «خلأ» را محال دانسته است، جسم به طور کلی اعم از جامد و سیال (مانند خاک، آب، هوا، آتش و ترکیبات آنها) در نظر وی، محیطی کاملاً پیوسته است که هیچ‌گونه گسستگی در آن راه ندارد. در این نگاه، هر نوع حفره‌ای در اجسام جامد، با اجسام سیالی (مانند آب، هوا یا آتش و یا ترکیبات آنها) ضرورتاً پُر شده است. دیدگاه ارسطو کاملاً در مقابل دیدگاه اتم‌گرایی دموکریتوس (ذیمقراطیس) است که عالمِ ماده را به صورت حرکت اجسام در فضایی تهی به تصویر می‌کشد. بنابراین فیزیک ارسطویی به صورت «مکانیک محیط پیوسته» قابل صورت‌بندی ریاضی است، نه به صورت «نظریه جنبشی گازها».

ارسطو با انکار امکان وجود فضایی مستقل از اجسام (فضای مطلق)، سعی کرده است تا تبیینی غیرمطلق از «حرکت» ارائه کند. اما آیا او توانسته است خود را کاملاً از قید مفهوم

«فضای مطلق» رها سازد؟ آیا وی بدون استفاده از مفهوم «فضای مطلق» توانسته است تبیینی سازگار از «حرکت مکانی» (locomotion) ارائه کند؟

با توجه به اصولی که ارسطو پیرامون حقایق اشیاء و روابط آنها اتخاذ کرده و قالب‌هایی مفهومی مانند جوهر (substance)، عرَض (accident)، جسم (body)، ماده (matter)، صورت (form)، اتصال (continuity)، نامتناهی، خلأ، مکان، حرکت، زمان، عناصر اربعه، عنصر پنجم، کُره عالم و برخی دیگر از مفاهیم مرتبط که او با استفاده از آن‌ها ساختمان نظریه فیزیکی خود را بنا کرده است، می‌توان پاسخ وی به سؤالات فوق را استنباط نمود.

ارسطو، «مکان» یک جسم را به «آن سطحی از جسمِ حاوی که در تماس با جسمِ محوی است (منظور از جسم محوی، آن جسمی است که می‌تواند حرکت مکانی داشته باشد)» تعریف کرده (Aristotle, Physics IV.4 212^{a}6–9) و نسبت جسم با مکان را عَرَض دانسته است که در اصطلاح به آن «أین» (به معنای «کجایی» و «در مکان بودن») گفته می‌شود. با توجه به تعریف ارسطو از مکان، روشن است که وی مکان یک جسم (جسم محوی) را در مقایسه و نسبت‌سنجی با جسم دیگر (جسم حاوی) در نظر گرفته و این مطلب نشان می‌دهد که وی در تلاش است تا مکان و در نتیجه، حرکتِ مکانی را بدون نیاز به استفاده از مفهوم فضای مطلق تبیین کند.

به تعریفی که ارسطو از مکان ارائه کرده است این گونه اشکال شده است که اگر فرض کنیم یک ماهی در نهری جاری ایستاده (ساکن) باشد، بدون شک، سطح آبی که مماس با سطح بدن آن است پیوسته تغییر می‌کند و طبق نظریهٔ مزبور باید بگوییم که مکان آن دائماً تغییر می‌یابد، در صورتی که فرض کرده‌ایم که در جای خودش ایستاده و تغییر مکانی برایش رخ نداده است[۱۰] (مصباح یزدی، ۱۳۸۳: ج۱۴۴/۲؛ عبودیت، ۱۳۹۶؛ ابن سینا، ۱۴۰۴: ج۱۱۵/۱–۱۱۶، ۱۴۰–۱۴۱؛ صدرالدین شیرازی، ۱۹۸۱: ج۱۹۱/۳–۱۹۲). خودِ ارسطو، حرکت یک قایق بر روی سطح آبِ یک رودخانه را بررسی کرده است. با توجه به این که قایق، همراه با آب رودخانه در حال حرکت است، بنابراین سطح جسم حاوی (آب) که مماس با سطح بیرونی قایق است همواره ثابت می‌ماند. بنابراین مکان قایق می‌بایست همواره ثابت باشد در حالی که حرکت قایق کاملاً مشهود است (Aristotle, Physics IV.5 212^{a}10–20). این اشکال، ارسطو را بر آن می‌دارد تا تعریف اولیه خود از مکان را به این صورت کامل کند: «درونی‌ترین سطح یا مرزِ بی‌حرکتِ یک حاوی، مکان است» (Aristotle,

(Physics IV.5 212^b20–21). سؤال ما از ارسطو این است که «بی‌حرکت» نسبت به چه چیزی؟ نسبت به فضای مطلق یا چیزی دیگر؟

برای یافتن پاسخ ارسطو به این پرسش ضرورت دارد تا نظریه وی در باب کل عالم و یا به عبارت دیگر کیهان‌شناسی وی مورد مطالعه و بررسی قرار گیرد. بنابراین در ادامه، نظریه ارسطو را در دو باب «حرکت شعاعی نسبت به مرکز عالم» و «حرکت چرخشی» به طور جداگانه مورد بررسی قرار می‌دهیم.

۱.۴ ارسطو و حرکت شعاعی نسبت به مرکز عالم

طبق نظر ارسطو، عالم ماده که از اجسامی متصل و سه‌بُعدی تشکیل شده است دارای ابعادی متناهی و محاط در فلک اقصی (کُره ستارگان ثابت) است (Aristotle, On the heavens I.1–7) و خارج از آن هیچ مکان، فضا یا خلأی وجود ندارد.

با توجه به تعریفی که ارسطو از مکان ارائه کرده است روشن است که عالَم به عنوان یک کل، مکان ندارد. به عبارت دیگر، کُره عالم (کُره ستارگان ثابت) به عنوان یک کل، مکان ندارد (چرا که هیچ جسمی آن را در بر نگرفته است)، اگر چه اجزای آن هر کدام دارای مکان است و به همین دلیل است که بالاترین جزء کُره عالم، حرکت دایروی دارد (Aristotle, Physics IV.5 212^b5–25).

با توجه به این که کُره عالم به عنوان یک کل، مکان ندارد، در نتیجه، حرکت انتقالی آن نیز محال است. بنابراین حرکت مرکز کُره عالم نیز غیرممکن خواهد بود. ارسطو نسبت دادنِ «سکون» به مرکز عالم یا کُره عالم را صحیح نمی‌داند؛ چرا که طبق نظر وی، استعمال واژه «سکون» در مواردی جایز است که امکان و شأنیت حرکت وجود داشته باشد (Aristotle, Physics IV.12 221b5–15, V.2 226b10–17). از این رو، علمای مشّاء برای کُرهٔ عالم یا مرکز عالم، به جای واژه «ساکن» (at rest)، واژه «ثابت» (fixed) را به کار برده‌اند (Aristotle, On the universe 2 391b11–14).

شاید به نظر برسد که می‌توان نامتحرک بودنِ مرکز عالم را به عنوان امری مطلق به ارسطو نسبت داد، اما با کمی دقت روشن می‌شود که انتساب این مطلب به ارسطو صحیح نیست. در واقع، نامتحرک بودنِ مرکز عالم در نگاه ارسطو، ثباتی حقیقی[۱۱] و غیرمطلق است؛

چرا که در نگاه وی، «مرکز عالم» در نسبت با کُره ستارگان ثابت (فلک اقصی) معنا پیدا می‌کند نه به عنوان یک امر مطلق.

بنابراین ارسطو وقتی که مکان را به صورت «درونی‌ترین سطح یا مرز بی‌حرکت یک حاوی» تعریف می‌کند، در واقع، منظور وی از واژه «بی‌حرکت»، بی‌حرکت بودن نسبت به مرکز عالم است نه نسبت به فضای مطلق. از آنجا که حرکت انتقالیِ کُره ستارگان ثابت (فلک اقصی)، غیر ممکن است، در نتیجه، حرکت مرکز آن نیز محال است. بنابراین ثبات مرکز عالم، حقیقی است و سکون و حرکت شعاعیِ بقیه اجسام نیز با آن نسبت‌سنجی می‌شود.

در نگاه ارسطو، «حرکت شعاعی نسبت به مرکز عالم» اگر چه مطلق نیست، در عین حال، با اصل ماخ (نسبی بودن حرکت) نیز مطابقت ندارد. جهت توضیح اصل ماخ (نسبی بودن حرکت)، به عنوان مثال، فرض کنید که قطاری در حال نزدیک شدن به ایستگاه است. از دید شخصی که در ایستگاه قطار ایستاده، درختان ساکن هستند، اما قطار، متحرک است. در مقابل، شخصی که در قطار ایستاده و از پنجره به بیرون نگاه می‌کند، درختان را متحرک، اما قطار را ساکن می‌بیند. بنابراین حرکت و سکون، پدیده‌هایی کاملاً نسبی هستند و از دید ناظرهای مختلف، متفاوت توصیف می‌شوند. البته این دو توصیف، هم‌ارز و کاملاً صحیح هستند (اصل ماخ). در مثالی دیگر فرض کنید که سنگی در حال سقوط به سمت زمین است و زمین نیز در مرکز عالم قرار دارد. اگر حرکت، امری کاملاً نسبی باشد، بررسی حرکت از دید ناظر متصل به سنگ و همچنین بررسی حرکت از دید ناظر متصل به زمین، کاملاً با یکدیگر هم‌ارز خواهند بود. به عبارتی، از دید ناظر متصل به سنگ، سنگ ساکن و زمین در حال نزدیک شدن به آن است، اما از دید ناظر متصل به زمین، زمین ساکن و سنگ در حال نزدیک شدن به آن است. آیا تحلیل ارسطو با دیدگاه نسبی بودن حرکت (اصل ماخ) سازگار است؟ کمی تأمل نشان می‌دهد که چنین نیست؛ در نظر ارسطو، ناظر متصل به سنگ نمی‌تواند خود را ساکن دانسته و زمین را که متصل به مرکز عالم است در حال نزدیک شدن به خود بداند؛ چرا که در نگاه وی، حرکت مرکز عالم، محال است.

به عقیده ارسطو، اگر چه جهت‌های راست، چپ، جلو و عقب قراردادی هستند، اما جهت‌های پایین (به سمت مرکز عالم) و بالا (در جهت دور شدن از مرکز عالم) حقیقی هستند؛ چرا که در عالم تحت القمر، عناصر به سبب طبیعتشان به سمت مکان مناسب

خویش در حرکتند. ارسطو در «درباره آسمان» کتاب سوم و چهارم، جهت تعیین مکان مناسب عناصر، به تفصیل مفاهیم «سنگینی»، «سبکی»، «سنگین‌تر» و «سبک‌تر» را مورد بررسی قرار داده است (Aristotle, On the heavens III&IV). خاک به سمت پایین یعنی مرکز عالم و آتش به سمت بالا یعنی در جهت دور شدن از مرکز عالم، حرکت می‌کند. دو عنصر دیگر چنین هستند که آب با خاک و هوا نسبتی دارد و هوا نیز با آب و آتش. بدین طریق ارسطو مکان طبیعی هر عنصر را مشخص می‌کند. حرکت طبیعی هر عنصر همواره به سمت مکان مناسب خود خواهد بود. به همین دلیل است که زمین که از خاک می‌باشد و خاک نیز سنگین‌تر از آب، هوا و آتش[۱۲] است، در مرکز عالم قرار دارد. شاید به نظر برسد که حقیقی بودن جهات پایین و بالا بر مطلق بودن آنها دلالت دارد، اما با توجه به این که مرکزیت عالم در نسبت با کُره ستارگان ثابت (فلک اقصی) معنا می‌شود و امری غیرمطلق است، بنابراین جهات پایین و بالا نیز در نگاه ارسطو اموری حقیقی و غیرمطلق هستند.

۲.۴ ارسطو و حرکت وضعی (چرخشی)

در قسمت قبل، بیان شد که از نظر ارسطو حرکت انتقالیِ مرکز عالم (مرکز کُره ستارگان ثابت) محال است و سکون و حرکتِ شعاعی همه اجسام همواره نسبت به این مرکز سنجیده می‌شود. به عبارت دیگر، معیار سکون و حرکت شعاعی اجسام، نقطه مرکز عالم است. ارسطو اگر چه حرکت انتقالی فلک اقصی (کُره ستارگان ثابت) را محال دانسته است، اما برای آن، حرکتی وضعی (چرخشی) قائل است. همچنین وی معتقد است که زمین به سبب طبیعتش، علاوه بر این که در مرکز عالم ساکن است، هیچ گونه حرکت وضعی (چرخشی) نیز ندارد. البته وی تحقق حرکت وضعی برای زمین را ذاتاً محال ندانسته است. او معتقد بود که سکونت در زمینِ متحرک و در حال چرخش با مشاهدات ظاهری انسان ناسازگار است. به علاوه، حرکت چرخشی در عالمِ تحت القمر (شامل زمین، آب، هوا و آتش) حرکتی قسری (غیر طبعی) است و در نتیجه، نمی‌تواند به طور دائمی صورت پذیرد، مگر با اعمال نیرویی مداوم. بنابراین زمین به عنوان یک کل، حرکت وضعی (چرخشی) ندارد. بقیه عناصرِ عالَم تحت القمر یعنی آب، هوا و آتش نیز چنین هستند (Aristotle, On the heavens II.14 296^a24–297^a8).

این که گفته شود فلک اقصی (کره ستارگان ثابت) دارای حرکت وضعی است، اما زمین حرکت وضعی ندارد، به هر حال، یک سؤال ایجاد می‌کند که حرکت وضعی نسبت به چه چیزی؟ فلک اقصی (کره ستارگان ثابت) نسبت به چه چیزی حرکت وضعی دارد و زمین نسبت به چه چیزی حرکت وضعی ندارد؟ به عبارت دیگر، بی‌حرکت بودنِ اجزاء زمین نسبت به چه چیزی مد نظر ارسطو بوده است؟

همان طور که برای سنجش حرکتِ شعاعی نیازمند معیاری هستیم و در نگاه ارسطو، نقطه مرکز عالم—به عنوان مرجعی برای سنجش فاصله—این نیاز را برآورده کرد، برای سنجش حرکت وضعی نیز به یک معیار نیازمندیم. البته روشن است که وجود یک نقطه، مثل نقطهٔ مرکز عالم، نمی‌تواند معیاری برای سنجش چرخش (یا زاویه) باشد. در واقع، برای سنجش چرخشِ یک جسم، به محورهایی متمایز (و مستقلِ خطی) به عنوان مرجعی برای سنجش زاویه نیازمندیم. بنابراین سؤال این است که در نگاه ارسطو معیار سنجش چرخش چیست؟ به عبارت دیگر، چرخش نداشتن زمین و چرخش داشتن فلک اقصی (کره ستارگان ثابت) نسبت به چیزی مد نظر ارسطو بوده است؟ اگر ارسطو چرخش فلک اقصی (یا دیگر افلاک) را نسبت به زمین سنجیده است، روشن است که نمی‌تواند عدم چرخش زمین را نسبت به فلک اقصی (یا دیگر افلاک) در نظر گرفته باشد. اما اگر وی، عدم چرخش زمین را نسبت به آب و هوای محیطیِ زمین لحاظ کرده باشد، بلافاصله این سؤال ایجاد می‌شود که عدمِ چرخشِ مجموعهٔ زمین و آب و هوای محیطیِ آن، نسبت به چه چیزی مد نظر ارسطو بوده است؟ روشن است که متوسل شدن به آتشِ محیطی نیز نمی‌تواند مشکل را حل کند؛ چرا که سؤال فوق، این بار به این صورت قابل طرح است که ارسطو عدمِ چرخشِ مجموعهٔ زمین، آب، هوا و آتش را نسبت به چه چیزی سنجیده است؟

به نظر می‌رسد که نظریه ارسطو در پاسخ به این پرسش ناتوان است. در واقع، اگر ارسطو همان طور که حرکت انتقالی فلک اقصی یا کُره عالم (کره ستارگان ثابت) را محال می‌دانست، حرکت چرخشی آن را نیز محال می‌دانست، به راحتی می‌توانست برای سنجشِ چرخش نیز معیاری ارائه کند. البته ارسطو با پذیرش فرض ممتنع بودن چرخش کره عالم، اگر چه می‌توانست به سؤال فوق پاسخ داده و معیاری برای سنجش چرخش ارائه کند، اما مجبور بود جهت توجیه چرخش مشاهده شده برای فلک اقصی (کره ستارگان ثابت) در

آسمان، برای زمین، چرخشی در نظر بگیرد که این امر با مشاهدات ظاهری و اصول طبیعیات او سازگار نبود.

با توجه به توضیحات فوق، به نظر می‌رسد که ارسطو وقتی زمین، آب، هوا و آتش را به عنوان یک کل، بدون چرخش معرفی کرده است، به نوعی این عدمِ چرخش را نسبت به فضای مطلق در نظر گرفته است نه امری نسبی. بنابراین ارسطو باید به مطلق‌انگاری حرکت وضعی اعتراف کند، اگر چه که پذیرش «حرکت مطلق»، به نوعی پذیرش «فضای مستقل (مطلق)» را به دنبال خواهد داشت و این به معنای ناتمام بودن تلاش ارسطو در ارائهٔ نظریه‌ای سازگار در باب «حرکت» می‌باشد.[۱۳]

۵. نتیجه‌گیری

اصل ماخ بدین معنا که «حرکت، امری نسبی است و هیچ ناظر یا چارچوب ارجحی وجود ندارد»، یکی از اصول بنیادین فیزیک است و به همین دلیل، تلاش‌های بسیاری جهت ارضای آن صورت گرفته است. ارسطو، عالَم را متناهی و حرکتِ مرکز آن را محال دانسته است. این ویژگیِ منحصر به فرد برای مرکز عالم موجب می‌شود که چارچوب متصل به مرکز عالم بر سایر چارچوب‌های متحرک ارجحیت یابد. بنابراین نظریه ارسطو در باب «حرکت»، اصل ماخ را ارضا نمی‌کند. با این وجود، ارسطو در باب حرکت، با رد نظریهٔ اتمی قدما و پیش‌فرضِ آن مبنی بر وجود یک فضای مستقل (مطلق)، در صدد بوده است تا تبیینی کاملاً «غیرمطلق» از حرکت ارائه کند که در مورد «حرکت شعاعی نسبت به مرکز عالم» موفق بوده است. اما در مورد حرکت وضعی (چرخشی)، در قسمت (۴-۲) نشان داده شد که وی باید به مطلق‌انگاری حرکت وضعی اعتراف کند، اگر چه که پذیرش «حرکت مطلق»، به نوعی پذیرش «فضای مستقل (مطلق)» را به دنبال خواهد داشت و این به معنای ناتمام بودن تلاش ارسطو در ارائهٔ نظریه‌ای سازگار در باب «حرکت» می‌باشد.

پی‌نوشت‌ها

۱. قانون نیروی الکترودینامیکی وبر چنین است:

$$\mathbf{F}_{ji} = \frac{q_i q_j}{4\pi\varepsilon_0}\frac{\hat{\mathbf{r}}_{ij}}{r^2{}_{ij}}\left(1 - \frac{\dot{r}^2{}_{ij}}{2c^2} + \frac{r_{ij}\,\ddot{r}_{ij}}{c^2}\right)$$

$\mathbf{F}_{ji}$ نیرویی است که از طرف بار q_j بر بار q_i وارد می‌شود. نقطه در بالای حروف، نشان‌دهنده مشتق نسبت به زمان است (دو نقطه، نشان‌دهنده مشتق دوم است). ε_0 ثابت گذردهی خلأ، c سرعت نور در خلأ، $\mathbf{r}_{ij} = \mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j$ بردار فاصلهٔ نسبی ($\hat{\mathbf{r}}_{ij}$ بردار یکه در جهت $\mathbf{r}_{ij}$ است) و $\dot{r}_{ij}$ و $\ddot{r}_{ij}$ به ترتیب سرعت و شتاب نسبی بارها در امتداد خط واصلشان می‌باشد. قانون نیروی گرانشی وبر نیز مشابه قانون نیروی الکترودینامیکی وی است.

۲. این مطلب، با گفته ارسطو که: هر حرکتی علتی دارد که ضرورتاً به علتی نخستین منتهی می‌شود (Aristotle, Physics VIII.4, VII.1 242^b70–75)، قابل جمع است.

۳. ترجمهٔ انگلیسی واژه‌های به کار رفته در آثار ارسطو، از منبع زیر است:

Barnes, J. (1984). Complete works of Aristotle, The revised Oxford translation. Princeton University Press.

۴. عبارات ارسطو در «درباره آسمان» گویای این است که منظور وی از واژه «فلک»، فلک ستارگان ثابت بوده است (Aristotle, On the heavens II.4 287^a)، اما از آنجا که در زمان افلاطون و ارسطو باور بر این بوده است که همه فلک‌ها دارای حرکت چرخشی یکنواختی هستند، اگر چه می‌دانستند سرعت چرخش و محور چرخش آنها با یکدیگر متفاوت است، حمل واژه «فلک» بر بقیهٔ افلاک نیز مانعی ندارد (Barbour, 1989: 98).

۵. قابل توجه است که افلاطون نیز زمان را امری مطلق دانسته است (Emery et al., 2020).

۶. مشکل مطرح شده در مورد انتخاب واحد یا یکایی ثابت برای اندازه‌گیری صحیح بازه‌های زمانی و یا به عبارت دیگر، مشکل شناسایی حداقل یک حرکت یکنواخت (یا کاملاً معین) در طبیعت، غیرقابل حل است مگر با پذیرش یکنواخت (یا کاملاً معین) بودن یک حرکت مشخص به عنوان اصل‌موضوع. بنابراین این مطلب را به عنوان یک قاعده کلی می‌توان این گونه بیان کرد که هر نظریهٔ فیزیکی که سعی در تبیین کمّی پدیده‌ها دارد ناگزیر است تا به نوعی، یکنواخت (یا کاملاً معین) بودن یک تغییر مشخص و یا یکنواخت (یا کاملاً معین) بودن یک حرکتِ مشخص نسبت به یک چارچوب معین را به عنوان اصل‌موضوع بپذیرد یا راه‌کاری جهت تعیین آن ارائه کند. نظریه نسبیت خاص نیز با پذیرش اصل‌موضوع دوم یعنی یکنواخت، ثابت و یکسان بودن سرعت نور در همه چارچوب‌های لخت در خلأ (Einstein, 1905)، قاعده مذکور را رعایت کرده است.

۷. اگر چه نویسندگان اولیه از ستارگان «ثابت» سخن گفته‌اند، در واقع، حرکت آنها در کهکشان چرخان ما با تجهیزات جدید قابل مشاهده است (Bondi et al., 1997: ref. [5]).

۸. قابل ذکر است که اهمیت تفکر پیرامون مسأله «حرکت فلک و سکون زمین یا حرکت زمین و سکون فلک»، قرن‌ها قبل از ماخ و حتی چندین قرن قبل از دکارت، کوپرنیک، گالیله، نیوتن و لایبنیتز، توسط ابو ریحان بیرونی (۴۲۷-۳۵۲ ش.) مورد اشاره و تأکید قرار گرفته است (البیرونی، ۱۳۸۰: ۱۲۸؛ ۱۴۰۳: ۲۰۶-۲۰۵).

۹. قابل ذکر است که حجم (جسم تعلیمی)، از انواع کمّ متصل بوده و از أعراض محسوب می‌شود که در تحقق خارجی خود همواره به موضوع (جسم طبیعی) نیازمند است. همهٔ انواع کمیت‌های متصل و از جمله حجم (جسم تعلیمی)، از چهره‌های وجود اجسام بوده و وجودی جداگانه از وجود جسم ندارند و به اصطلاح، جعل تألیفی و مستقلی به آنها تعلق نمی‌گیرد هر چند ذهن می‌تواند آنها را به عنوان ماهیات مستقلی در نظر بگیرد. به یک معنا می‌توان گفت: وجود حجم (جسم تعلیمی)، از شئون وجود جسم است (مصباح یزدی، ۱۳۸۳: ج۱۹۸/۲).

۱۰. پاسخ ابن سینا و ملاصدرا به اشکال مطرح شده، با پاسخ ارسطو که در این مقاله به آن پرداخته می‌شود تفاوت داشته و بررسی آن می‌تواند موضوع یک مقاله باشد.

۱۱. همان طور که کاملاً روشن است، واژه «حقیقی» در اینجا نباید با واژه «حقیقی یا واقعی» (true) که توسط نیوتن در مورد «حرکت مطلق» (absolute motion) به کار رفته است، اشتباه گرفته شود.

۱۲. آتش، هیچ سنگینی‌ای ندارد.

۱۳. البته اشکال مطرح شده، متوجّهِ طبیعیات ابن سینا و ملاصدرا نیز می‌باشد.

کتاب‌نامه

ابن سینا، حسین بن عبدالله (۱۴۰۴ق.). الشفاء (الطبیعیات)، تحقیق: سعید زائد، جلد۱، چاپ دوم، قم: مکتبه آیه الله العظمی المرعشی النجفی.

البیرونی، ابو ریحان محمد بن احمد (۱۳۸۰ش). استیعاب وجوه الممکنه فی صنعه الاصطرلاب، به کوشش محمد اکبر جوادی حسینی، مشهد.

البیرونی، ابو ریحان محمد بن احمد (۱۴۰۳ق). تحقیق ما للهند، چاپ دوم، بیروت: عالم الکتب.

صدرالدین شیرازی، محمد بن ابراهیم (۱۹۸۱م.). الحکمه المتعالیه فی الاسفار العقلیه الاربعه، جلد۳، چاپ سوم. بیروت: دار إحیاء التراث العربی.

عبودیت، عبدالرسول (۱۳۹۶). «ماهیت مکان در تاریخ فلسفه اسلامی»، تاریخ فلسفه، ۱۳۹۶، ۸، ۱، ۴۰-۷.

مصباح یزدی، محمد تقی (۱۳۸۳). آموزش فلسفه، جلد۲، قم: مؤسسه آموزشی پژوهشی امام خمینی (ره).

Ainsworth, T. (2020). "Form vs. Matter", The Stanford Encyclopedia of Philosophy, Edward N. Zalta (ed.), URL = <https://plato.stanford.edu/archives/sum2020/entries/form-matter/>.

Alexander, H. G. (ed.) (1977). The Leibniz-Clarke Correspondence, Manchester: Manchester University Press.

Assis, A. K. T. (2017). Relational mechanics and Implementation of Mach's Principle with Weber's Gravitational Force, Montreal: Apeiron.

Barbour, J. B. (1989). Absolute or Relative Motion? — A study from a Machian point of view of the discovery and the structure of dynamical theories, volume 1: The Discovery of Dynamics. Cambridge University Press, Cambridge.

Barbour, J. B., Pfister H. (1995). Mach's principle: from Newton's bucket to quantum gravity (Vol. 6). Springer Science & Business Media.

Barnes, J. (1984). Complete works of Aristotle, The revised Oxford translation. Princeton University Press.

Berkeley, G. ([1710] 1988). The principles of Human Knowledge, Edited by Roger Woolhouse, London: Penguin Books.

Bodnar, I. (2018). "Aristotle's Natural Philosophy," Stanford Encyclopedia of Philosophy, https://plato.stanford.edu/entries/aristotle-natphil/.

Bondi, H., Samuel, J. (1997). "The Lense-Thirring effect and Mach's principle," Physics Letters A, 228(3), 121-126.

Brans, C., Dicke, R. H. (1961). "Mach's principle and a relativistic theory of gravitation," Physical review, 124(3), 925.

Earman, J. (1970). "Who's afraid of absolute space?," Australasian Journal of Philosophy, 48(3), 287-319.

Einstein, A. (1905). "On the Electrodynamics of Moving Bodies." In: A. Einstein, H. A. Lorentz, H. Weyl and H. Minkowski (1952). The Principle of Relativity, p. 35-65, New York: Dover.

Einstein, A. (1916). "The Foundation of the General Theory of Relativity." In: A. Einstein, H. A. Lorentz, H. Weyl and H. Minkowski (1952). The Principle of Relativity, p. 109-164, New York: Dover.

Einstein, A. (1918). "On the Foundations of the General Theory of Relativity." In: A. Engel (translator). THE COLLECTED PAPERS OF Albert Einstein, Vol. 7, p. 33-35, Princeton, New Jersey: Princeton University Press.

Emery, N., Markosian, N., Sullivan, M. (2020) "Time", The Stanford Encyclopedia of Philosophy, Edward N. Zalta (ed.), URL = <https://plato.stanford.edu/archives/win2020/entries/time/>.

Gödel, K. (1949). "An example of a new type of cosmological solutions of Einstein's field equations of gravitation," Rev. Mod. Phys., 26, 447-450.

Hoyle, F., Narlikar, J. V. (1964). "A new theory of gravitation," Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences, 282(1389), 191-207.

Jammer, M. (1993) Concepts of Space — The History of Theories of Space in Physics, 3rd edition, New York: Dover.

Kretschmann, E. (1917). "Über den physikalischen Sinn der Relativitätspostulate, A. Einsteins neue und seine ursprüngliche Relativitätstheorie," Annalen der Physik, Leipzig, 53, 575-614. (In German)

Lichtenegger, H., Mashhoon, B. (2008), "Mach's Principle," arXiv:physics/0407078v2.

Mach, E. (1960). The Science of Mechanics — A Critical and Historical Account of Its Development, La Salle, Illinois: Open Court Press, 6th edition. Translated by J. McCormack.

Mashhoon, B. (1994). "On the origin of inertial accelerations," Il Nuovo Cimento B (1971-1996), 109(2), 187-199.

Newton, I. (1999). The principia: Mathematical principles of natural philosophy (I. B. Cohen & A. Whitman, Trans.). Berkeley: University of California Press (third edition of Principia originally published 1727).

Rindler, W. (1994). "The Lense-Thirring effect exposed as anti-Machian," Physics Letters A, 187, 236-238.

Rynasiewicz, R. (2022), "Newton's Views on Space, Time, and Motion", The Stanford Encyclopedia of Philosophy, Edward N. Zalta (ed.), URL = <https://plato.stanford.edu/archives/spr2022/entries/newton-stm/>.

Stan, M. (2016). "Huygens on Inertial Structure and Relativity," Philosophy of Science, 83(2), pp.277-298.

Suchting, W. A. (1961). "Berkeley's Criticism of Newton on Space and Motion," Isis, 58: 186–97.

Taub, A. H. (1951). "Empty space-times admitting a three parameter group of motions," Ann. Math. 53, 472-490.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی