استفاده از ظرفیت علم کوانتوم در مطالعات ژئوفیزیکی

محمدحسن سلیمانی[۱]، مجید باقری[۲]
[۱]دانشجوی کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، mh.soleimani@ut.ac.ir
[۲]استادیار گروه فیزیک زمین، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، majidbagheri@ut.ac.ir

چکیده

دنیای کوانتومی اغلب به صورت یک تصویر عجیب و غریب و مبهم ارائه شده که از دنیای امروزه ما بسیار دور است ذرات زیر اتمی می‌تواند در بسیاری از مکان‌ها به طور همزمان وجود داشته باشند یا در فاصله بسیار زیاد به وسیله درهم‌تنیدگی به هم متصل شوند. اما محققان امروزه از این فاز کوانتومی برای ایجاد مجموعه ای از ابزارهای علمی استفاده می‌کنند که می‌تواند در صنعت و سایر موارد قابل استفاده باشد. هدف اصلی توجه به قابلیت‌های کوانتومی به منظور بهبود کیفیت داده‌ها و همچنین یک انقلاب کوچک در حسگرهای کوانتومی است که می‌تواند تحول شگرفی ایجاد کند. با استفاده از حالت‌های کوانتومی مانند اسپین الکترون که دارای ظرفیت‌های خاصی هستند، می‌توان برای شناسایی تغییرات کوچک در امپدانس صوتی، گرانش و مغناطیس زمین استفاده کرد. از محاسبات کوانتومی برای مدل‌سازی عددی انتشار امواج لرزه‌ای برای مدل‌سازی زلزله و تعیین مشخصات مخزن می‌توان استفاده کرد. محققان و پژوهشگران اکتشاف لرزه ای ابزار بسیار قدرتمندی را با استفاده از رایانه‌های کوانتومی به دست می‌آورند. همچنین تاثیر فرایندهای کوانتومی بر فیزیک و اختلالات ژئوفیزیکی پدیده‌هایی مانند زلزله با فرایندهایی که قبل و بعد از آن اتفاق می‌افتد، مانند فوران آتشفشان‌ها، می‌تواند مورد بحث قرار بگیرد.

واژه‌های کلیدی: مطالعات ژئوفیزیکی، علم کوانتوم، لرزه شناسی، گرانش زمین، میدان مغناطیسی

Utilization of Quantum Science Capacity in Geophysical Studies

Mohammadhassan Soleimani [1] , Majid Bagheri [2]

[1]*M.Sc. student of seismology, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran.*
[2] *Assistant Professor, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran*

Abstract

The quantum world is often presented as a strange and ambiguous image that is far removed from our world today. Subatomic particles can be present in many places simultaneously or at great distances due to entanglement. But today researchers are using this quantum phase to create a set of scientific tools that can be used in industry and elsewhere, and our main goal is to focus on quantum capabilities to improve data quality as well as a small revolution. Quantum sensors can make a dramatic difference, and quantum modes such as electron spins, which have special capacities, can detect small changes in gravity and magnetism. The Impact of Quantum Processes on physics and geophysical field disorders examples of phenomena such as earthquakes with processes that occur before and after them, such as volcanic eruptions, are discussed.

Keywords: Geophysical studies, Quantum science, Seismology, Gravity, Magnetic field.

مقدمه

رایانه‌های کوانتومی بیشترین سرفصل‌ها را به خود اختصاص می‌دهند، اما یک انقلاب آرام‌تر در دنیای حسگرها ممکن است به همان اندازه مهم باشد. حالت‌های کوانتومی، مانند اسپین یک الکترون، دارای ظرفیت‌های خاصی هستند که برای شناسایی تغییرات کوچک در گرانش و مغناطیس مورد استفاده قرار می‌گیرند، و طیف وسیعی از کاربردها را به ما می‌دهند که می‌تواند دید واضح‌تری از جهان زیر پایمان به ما بدهد.

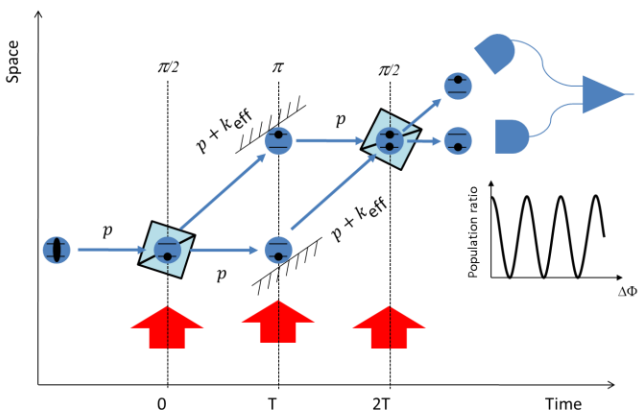
از محاسبات کوانتومی برای مدل‌سازی عددی انتشار امواج لرزه‌ای برای مدل‌سازی زلزله و تعیین مشخصات مخزن می‌توان استفاده کرد. محققان و پژوهشگران اکتشاف لرزه ای ابزار بسیار قدرتمندی را با استفاده از رایانه‌های کوانتومی به دست می‌آورند. پیشرفت‌های معنادار در روش‌های اکتشاف لرزه ای به پیشرفت در فناوری سخت افزار و نرم افزار کامپیوتر بستگی دارد. برای ژئوفیزیکدانان ضروری است که با ایده‌ها و پتانسیل‌های موجود در رایانه‌ها و الگوریتم‌ها در رژیم کوانتومی آشنا شوند تا به‌موقع از این ابزارهای مبانی علم اطلاعات کوانتومی استفاده کنند. ایده استفاده از محاسبات کوانتومی در زلزله شناسی باید برای فیزیکدانان و زلزله شناسان بسیار هیجان انگیز باشد. محققان محاسبات کوانتومی به دنبال الگوریتم‌های کوانتومی جدید برای نشان دادن سرعت قابل توجهی نسبت به همتایان کلاسیک هستند. در حال حاضر، تعامل بین نظریه کوانتومی و ژئوفیزیک ناشناخته باقی مانده است. با این حال، می‌توان امید داشت که محاسبات کوانتومی پتانسیل قابل توجهی را برای مقابله با مشکلات مدل‌سازی و وارونگی در مقیاس بزرگ که ژئوفیزیکدانان در حال حاضر با آن مواجه هستند، برطرف کند و در عین حال فرصت‌ها و چالش‌های محاسبات کوانتومی را از نظر علم زمین‌شناسی معرفی می‌کند.

روش

طبق مکانیک کوانتومی، هر اتم با یک تابع موج توصیف می‌شود - یک تابع ریاضی نوسانی که احتمال یافتن اتم را در یک موقعیت و حالت معین تعیین می‌کند. برای انجام اندازه‌گیری گرانش، یک لیزر ابتدا هر اتم را در یک حالت کوانتومی ترکیبی قرار می‌دهد که به عنوان برهم نهی شناخته می‌شود، که به آن اجازه می‌دهد همزمان انرژی‌های کمی پایین‌تر و بالاتر داشته باشد. سپس لیزر به ابر ضربه ای می‌دهد تا نیمه انرژی بالاتر تابع موج از نیمه کم انرژی چند سانتی متر به سمت بالا حرکت کند.

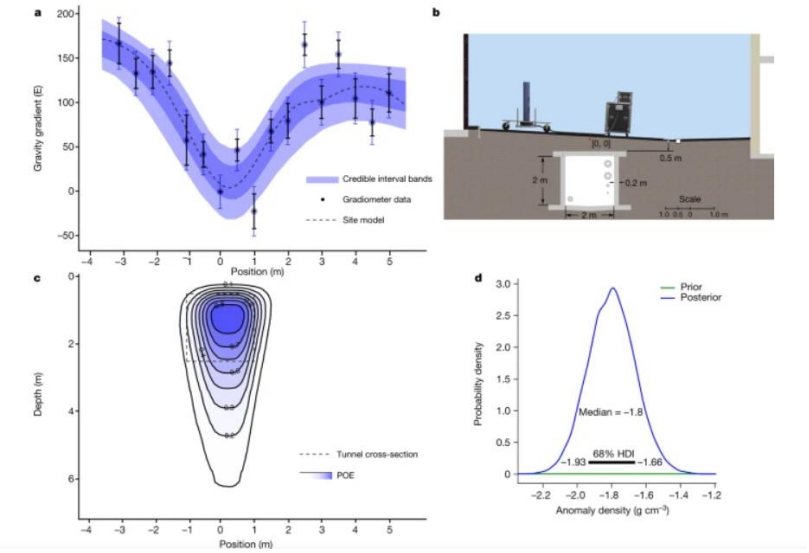
انرژی پتانسیل گرانشی هر ابر بر عملکرد موج آن تأثیر می‌گذارد، بنابراین ابری که زمان بیشتری را در بالاترین سطح گذرانده، کمتر از ابری که در پایین مانده است، نوسان کرده است. هنگامی که آنها دوباره ترکیب می‌شوند و تداخل می‌کنند، این نسبت دو حالت انرژی را تغییر می‌دهد. اندازه گیری این نسبت با پرتو لیزر قدرت گرانش را نشان می‌دهد. با استفاده از تداخل سنج اتمی می‌توان برنامه‌هایی که در حوزه گرانشی انجام می‌شود را بهبود داد، این نوع حسگرها یک گرانش سنج کوانتومی بسیار حساس هستند که قادر به تشخیص میدان گرانشی از طریق کنترل چگالی ماده است. در مطالعات ژئوفیزیکی برای اکتشاف مواد معدنی و نفت بیشتر حسگرهای موجود در حال حاضر به شدت تحت تاثیر نوفه‌های ناخواسته مکانی و زمانی قرار می‌گیرند که در نتیجه کیفیت سیگنال برداشتی را کاهش می‌دهد. بادیس و همکارانش داده‌هایی را بر اساس فنآوری کوانتومی در یک پیکربندی گرادیومتر تجزیه و تحلیل کردند و آن را با اندازه گیری‌های به دست آمده با استفاده از گرانش سنج‌های کلاسیکی مقایسه کردن آن‌ها دریافتند که گرانش سنج کوانتومی یک و نیم تا دو برابر بیشتر ازگرانش سنج‌های کلاسیکی در توانایی تشخیص ویژگی‌های کوچک‌تر موثر هستند و گرانش سنجش‌های کوانتومی می‌توانند در اعماق بیشتر اندازه‌گیری‌های دقیق انجام دهند.

همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است، برای اندازه گیری گرانش، سه پالس نور با زمان دقیق به اتم‌ها می‌تابد و تکانه را به ابر منتقل می‌کند و اتم‌ها را در یک برهم نهی کوانتومی دو حالت تکانه قرار می‌دهد. اولین پالس به گونه ای طراحی شده است که دقیقاً به نیمی از اتم‌ها ضربه حرکتی اضافی بدهد. این باعث می‌شود که نیمی از آنها سریع‌تر در فضا حرکت کند و ابر را به دو قسمت تقسیم کند. پس از گذشت زمان T، از یک پالس دوم برای معکوس کردن اختلاف تکانه دو ابر استفاده می‌شود و باعث می‌شود که آنها یک بار دیگر شروع به حرکت به سمت یکدیگر کنند. در نهایت، پس از زمان بیشتر T از یک پالس سوم برای بستن تداخل سنج استفاده می‌شود. همانطور که در شکل نشان داده شده است، نتیجه مشابه یک تداخل سنج ماخ زندر نوری است که در آن نقش اتم‌ها و نور معکوس شده است. اولین و آخرین پالس به عنوان تقسیم کننده پرتو عمل می‌کنند، در حالی که پالس میانی به عنوان یک آینه عمل می‌کند. به جای مشاهده الگوی تداخل از طریق شدت نوری، جمعیت دو حالت اتمی اندازه گیری می‌شود. در طول توالی، اتم‌ها اختلاف فازی را به دلیل گرانش جمع می‌کنند، که به ما امکان می‌دهد تغییرات موضعی در چگالی را تشخیص دهیم.



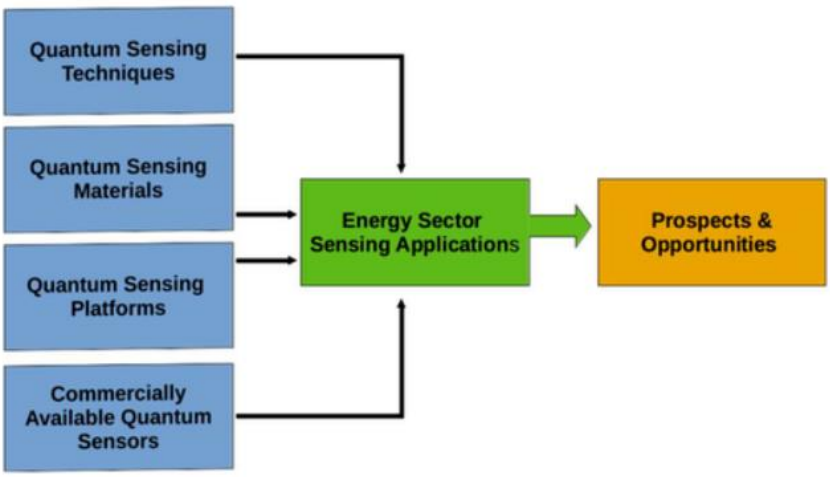
شکل ۱. طرحی از حسگرهای گرانشی کوانتومی.

برای بررسی این حسگر کوانتومی، هالینسکی و همکارانش آزمایش کردند که آیا حسگر آنها می‌تواند یک گذرگاه زیرزمینی در محوطه دانشگاه بیرمنگام را تشخیص دهد یا نمی‌تواند. این تونل بتنی ۲ در ۲ متری در زیر جاده ای بین دو ساختمان چند طبقه قرار داشت . حسگر کوانتومی میدان گرانشی محلی را هر ۰.۵ متر در امتداد یک خط ۸.۵ متری که از روی تونل عبور می‌کرد اندازه گیری کرد . نتایج نهایی با پیش‌بینی‌های یک شبیه‌سازی رایانه‌ای که سیگنال گرانشی تونل را بر اساس ساختار آن و سایر عواملی که می‌توانستند بر میدان گرانشی محلی تأثیر بگذارند تخمین زده بودند، مطابقت داشت (شکل ۲). بر اساس حساسیت دستگاه در این آزمایش، احتمالاً می‌تواند اندازه گیری گرانش قابل اعتمادی را در هر مکان در کمتر از دو دقیقه بدست آورد که این حدود یک دهم زمان مورد نیاز برای دیگر حسگرهای گرانشی است.



شکل ۲. نتایج حاصل از مطالعه موردی با استفاده از حسگرهای کوانتومی.

پیشرفت‌های فعلی در سنجش کوانتومی در سایر مطالعات ژئوفیزیکی بالقوه و قابل استفاده می‌باشد. بررسی اولیه به طور کلی یک نمای کلی از ارتباط با بخش انرژی ارائه می‌دهد و تاکید بر کاربردهای مرتبط با انرژی‌های فسیلی (اکتشاف نفت و گاز) است. حسگرهای کوانتومی بسیار حساس مانند جاذبه‌سنج‌ها و مغناطیس‌سنج‌ها برای اکتشاف منابع نفت و گاز و تعیین خصوصیات زیرسطحی مفید خواهند بود. متخصصان سنجش کوانتومی یک نمای کلی از مناطق بالقوه مورد نیاز در بخش انرژی ارائه می‌دهند که می‌توانند از حسگرهای کوانتومی بهره‌مند شوند (شکل ۳).



شکل ۳. اجزای مختلف سنجش کوانتومی و ارتباط آنها با نیازهای بخش انرژی.

نتیجه گیری

در مطالعات ژئوفیزیکی برای اکتشاف مواد معدنی و نفت بیشتر حسگرهای موجود در حال حاضر به شدت تحت تاثیر نوفه‌های ناخواسته مکانی و زمانی قرار می‌گیرند که در نتیجه کیفیت سیگنال برداشتی را کاهش می‌دهد. هدف اصلی توجه به قابلیت‌های کوانتومی به منظور بهبود کیفیت داده‌ها و همچنین یک انقلاب کوچک در حسگرهای کوانتومی است که می‌تواند تحول شگرفی ایجاد کند. در مورد گرانش سنج‌ها کوانتومی نتایج اولیه نشان داد که این حسگرها یک و نیم تا دو برابر بیشتر از گرانش سنج‌های کلاسیکی در توانایی تشخیص ویژگی‌های کوچک‌تر موثر هستند و گرانش سنجش‌های کوانتومی می‌توانند در اعماق بیشتر اندازه‌گیری‌های دقیق انجام دهند. پیشرفت‌های فعلی در سنجش کوانتومی در سایر مطالعات ژئوفیزیکی بالقوه و قابل استفاده می‌باشد. بررسی اولیه به طور کلی یک نمای کلی از ارتباط با بخش انرژی ارائه می‌دهد و تاکید بر کاربردهای مرتبط با انرژی‌های فسیلی (اکتشاف نفت و گاز) است. حسگرهای کوانتومی بسیار حساس مانند جاذبه‌سنج‌ها و مغناطیس‌سنج‌ها برای اکتشاف منابع نفت و گاز و تعیین خصوصیات زیرسطحی مفید خواهند بود.

منابع

Barrett, B. et al. Correlative methods for dual-species quantum tests of the weak equivalence principle. New J. Phys. 17, 085010 (2015).

Boddice, D., Metje, N. & Tuckwell, G. Capability assessment and challenges for quantum technology gravity sensors for near surface terrestrial geophysical surveying. J. Appl. Geophys. 146, 149–159 (2017).

Bongs, K. et al. Taking atom interferometric quantum sensors from the laboratory to real-world applications. Nat. Rev. Phys. 1, 731–739 (2019).

B. Stray et al. Quantum sensing for gravity cartography. Nature. Vol. 602, February 24, 2022, p. 590. doi: 10.1038/s41586-021-04315-3.

Kovachy, T. et al. Quantum superposition at the half-metre scale. Nature 528, 530–533 (2015).

N. Poli, R. Pašteka and P. Zahorec. Atomic changes can map subterranean structures. Nature. Vol. 602, February 24, 2022, p. 579. doi: 10.1038/d41586-022-00464-1.