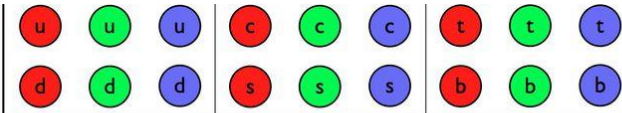

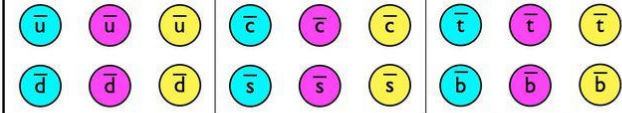




ثابت‌های طبیعی و شناخت‌شناسی

	Quarks
	Leptons
	Anti-Quarks
	Anti-Leptons
	Bosons

The natural constants¹ and epistemology

فشرده

در قوانین اساسی علم پارامترهایی به نام ثابت‌های طبیعی مطرح هستند که بنابر یافته‌ها نقش تعیین کننده در سرنوشت کیهان دارند. طبق این قوانین کوچکترین انحراف در ثابت‌های طبیعی می‌توانست به‌شکل‌گیری کیهانی متفاوت از کیهان ما منجر شود. باز طبق همین قوانین کل ویژگی‌های کیهان تابع ثابت‌های طبیعی می‌باشند. بدین‌سان ما مدعی هستیم که قوانین علم جهانشمول هستند، ادعایی بسیار بزرگ. آیا این ادعا صحت دارد؟ چگونه می‌توان از صحت آن مطلع شد؟ بی‌تردید اثبات آن نیازمند پیش‌زمینه (پیش‌دانش، فرض، ایده) است و این خود نیازمند پیش‌زمینه‌ای دیگر. لذا روشن است که این موضوع به حوزه‌ی توانایی‌شناختی (Erkenntnisfähigkeit) تعلق دارد و لازم است از جانب فیلسوفان بررسی شود.

ما تا به امروز کوچکترین اطلاعی از کجایی و چرایی اندازه ثابت‌های طبیعی نداریم و حتی نمی‌دانیم که آیا این ثابت‌ها حاصل اتفاقی نادر، کوتاه زمانی پس از 'بیگ‌بنگ'، هستند یا نتیجه‌ی علتی که (هنوز) نمی‌شناسیم. چنانچه اندازه‌های مربوطه حاصل از اتفاق باشند، می‌باید آن‌ها را بدون امکان مستدل نمودنشان همان‌گونه که هستند پذیرفت. اما اگر ثابت‌های طبیعی معلول علتی باشند لازم است که علت را شناسایی کنیم. برای این منظور احتمالاً نظریه‌های موجود، یعنی نظریه نسبیت و نظریه کوانتوم، توان کافی را ندارند. باید دید آیا می‌توان با توسعه این نظریه‌ها به نتیجه مطلوب رسید. در غیر این‌صورت لازم است نظریه بنیادی‌تری از این دو نظریه بنا کنیم.

پرسش دیگر این است که آیا ثابت‌های طبیعی به‌معنای واقعی کلمه ثابت هستند و یا تابعی از مکان و زمان و اگر چنین باشد چگونه می‌توان از آن مطلع شد و سرنوشت قوانین اساسی ما چه می‌شود؟ برای مثال، آیا ثابت‌های طبیعی در کره‌ای بسیار دور (مثلاً در فاصله ده میلیارد سال نوری) همانی هستند که ما از محدوده خود می‌شناسیم و یا تغییر می‌کنند؟

روشن است که وضعیت موجود نه برای دانش فلسفه رضایت‌بخش است و نه برای علم فیزیک. چراکه بدون داشتن اطلاع کافی از معتبر بودن قوانین اساسی در کل کیهان و چرایی و چگونگی شکل‌گیری ثابت‌های طبیعی هر ادعایی در ارتباط با آن‌ها حدس و گمانی بیش نیست.

محاسبات نظری و شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای ما نشان می‌دهند چنانچه تنها یکی از ثابت‌های طبیعی اندکی کوچکتر یا بزرگتر از آنی بودند که هستند امکان شکل‌گیری ساختارهایی مانند سیارات و با آن حیات وجود نداشت! دقیقاً به‌همین خاطر کسب اطمینان از جهانشمول بودن قوانین علم و شناخت از چرایی و چگونگی ثابت‌های طبیعی بسیار مهم است. بی‌شک درک درست و همه‌جانبه‌ی مسائل نامبرده می‌باید که به توسعه فلسفه، فیزیک و شناخت بهتر ما از واقعیت‌ها بیانجامد.

در این مقاله می‌خواهم پس از توضیحات اولیه به‌عنوان پیش‌گفتار، نیروها و ثابت‌های طبیعی را معرفی و در ادامه به شرح امکان شکل‌گیری کیهانی متفاوت از کیهان ما بر اثر کوچک‌ترین تغییر در اندازه ثابت‌های طبیعی بپردازم.

پیش‌گفتار

سؤال: آیا برپائی علم نیازمند پیش‌فرض است؟

جواب: بی‌شک؛ پیش‌دانش، ایده و فرض یا فرض‌هائی "ابزار" ضروری اولیه هستند.

سؤال: فرض ما برای قوانین اساسی موجود علم فیزیک چیست؟

جواب: معتبر بودن آن‌ها در همه جای کیهان و در هر زمان؛ جهانشمول بودن آن‌ها.

سؤال: آیا فرض ما صحت دارد؟ چگونه و با چه معیاری می‌توان از صحت یک فرض اطمینان حاصل کرد؟

جواب: الزاما خیر. توسط آزمایش و اثبات نظری آن از طریق منطق ریاضی.

مثال: وقتی ما از طیف نور ستارگان برای تعیین عناصر موجود در آن‌ها بهره می‌جوئیم فرض را بر این گذاشته‌ایم که انتشار نور با منشاء نور و خواص الکترومغناطیسی نور تغییر نمی‌کنند. به عبارت دیگر، ما از این فرض حرکت می‌کنیم که قوانین مربوط به نور، حتی از ستارگانی که میلیاردها سال نوری از ما فاصله دارند، تغییر نمی‌کنند. آیا این فرض درستی است؟

در تلاش برای فهم عملکرد طبیعت با یاری قوانین، شاهد بروز پارامترهایی با اندازه‌های ثابت در آن‌ها هستیم، پارامترهایی که پایدار می‌نمایند. برای مثال پارامتر ثابت در قوانین الکترومغناطیسی (قوانین مربوط به نور) سرعت نور می‌باشد. آیا این پارامتر (سرعت نور) واقعا ثابت است؟ در این رابطه و در رابطه با ثابت‌های طبیعی دیگر بسیار مهم است بدانیم که:

اندازه‌ی ثابت‌های طبیعی را نمی‌توان از راه محاسبه بدست آورد! تعیین اندازه این نوع پارامترها تنها و تنها از طریق اندازه‌گیری عملی است. مثال بارز آن سرعت نور می‌باشد که در اواخر قرن نوزدهم با دقت لازم اندازه‌گیری و سبب پایان دادن به بحث طولانی در باره‌ی حاملی انگاشته شده برای انتقال نور (همانند هوا برای انتقال صوت) تحت نام 'اثر' شد.

سؤال: با توجه به سطح دانش کنونی چه وضعیتی را می‌توان برای کیهان تصور کرد، برای مثال سرعت نور یا بار الکتریکی الکترون، اندازه کنونی را نداشتند و یا پایدار نبودند؟

جواب: همه چیز بهم‌ریخته، نابسامان و آشفته بود و امکان شکل‌گیری سیستم‌های سامان‌یافته مانند جانداران وجود نداشت. توضیحات بیشتر در این‌باره در بخش پایانی مقاله.

نیروهای بنیادی

سؤال: چگونه است که بعضی از سیستم‌ها تنها زمان کوتاهی و بعضی‌های دیگر میلیاردها سال پایدارند؟ چه چیزی باعث پایداری سیستم‌هایی مانند صخره‌ها متشکل از ملکول‌ها - و ملکول‌ها متشکل از اتم‌ها - و اتم‌ها متشکل از هسته‌ی اتم و الکترون‌ها می‌شود؟ چرا ذرات پروتون میلیاردها میلیارد سال پایدارند ولیکن ذرات نوترون در طول حدود ۱۵ دقیقه فرومی‌پاشند؟ چرا بعضی از هسته اتم‌ها آکتیو (راديوآکتیو) هستند و در نتیجه با گذشت زمان از عنصری به عنصر شیمیائی دیگری تبدیل می‌شوند؟ چه عاملی باعث شکل‌گیری و پایداری ملکول آب از اتم‌های هیدروژن و اکسیژن می‌شود و به این ترتیب در ترکیب با عناصر شیمیائی دیگر شکل‌گیری حیات را ممکن می‌سازد؟ علت پایداری نسبی سامانه شمسی چیست؟ علت چرخش ماه دور زمین، زمین دور خورشید، خورشید دور مرکز کهکشان و پایداریشان در چیست؟

جواب: علت، برهم‌کنشی میان اجزاء تشکیل دهنده‌ی سیستم‌هاست. به این معنا که هر جزئی از اجزاء موجود در کنش و واکنش با جزء دیگر بوده و اثر متقابل (interaction, Wechselwirkung) برهم دارند!

سؤال: بنیادی‌ترین برهم‌کنش‌ها (فعل و انفعالات یا کنش و واکنش‌ها) در جهان هستی (فیزیک) کدام و از چه نوع هستند؟

جواب: بنیادی‌ترین برهم‌کنش‌های شناخته شده ۴ نوع‌اند که به‌عنوان نیروی‌های بنیادی (fundamental interaction) شناخته می‌شوند. این ۴ نیرو عبارتند از نیروی گرانشی، نیروی الکترومغناطیسی (هر دو شناخته شده در دنیای کلاسیک)، نیروی قوی و نیروی ضعیف (هر دو مختص دنیای اتم‌ها).

سؤال: منظور از نیروی بنیادی، اساسی یا پایه‌ای چیست؟

جواب: نیروئی که قابل توصیف توسط نیروهای دیگر نیست، یعنی نیروئی است منحصر بفرد.

سؤال: قدرت نیروهای بنیادی در مقایسه باهم (قدرت نسبی) به چه شکلی است؟

پاسخ: چنانچه ما قدرت نیروی قوی (نیروی هسته‌ای) را برابر با ۱ در نظر بگیریم، قدرت نیروی ضعیف در مقایسه با آن برابر با 10^{-15} ، قدرت نیروی الکترومغناطیسی برابر با 10^{-2} و قدرت نیروی گرانشی برابر با 10^{-41} می‌باشد. به این ترتیب نیروی الکترومغناطیسی دومین نیروی قوی بعد از نیروی هسته‌ای و نیروی گرانشی ضعیف‌ترین نیرو در میان این نیروهاست.

ثابت‌های طبیعی

سؤال: منظور از ثابت‌های طبیعی (در فیزیک) چیست؟

جواب: ثابت‌هایی که قدرت برهم‌کنش‌های اساسی (fundamental interaction) را مشخص می‌کنند.

سؤال: کدامیک از ثابت‌های طبیعی باعث شکل‌گیری سیستم‌های پایدار می‌شوند؟

جواب: ثابت گرانش، ثابت زومرفلد، جرم الکترون، ثابت نیروی قوی و جرم کوآرک سبک u و d. در زیر به توضیح این ثابت‌ها می‌پردازم.

گفتیم که پایداری سیستم‌های گوناگون در کیهان ریشه در برهم‌کنش یا برهم‌کنش (interaction) میان اجزاء تشکیل دهنده سیستم‌ها دارد. همچنین گفتیم فرض ما بر این است که ۴ نیروی نامبرده همیشه و در همه جای کیهان صدق می‌کنند و اضافه کردیم که در قوانین مربوط به این نیروها پارامترهایی ظاهر می‌شوند با اندازه‌های ثابت به نام ثابت‌های طبیعی. در اینجا با توضیحی کوتاه به معرفی این بازیگران اصلی طبیعت می‌پردازیم.

۱. ثابت طبیعی نیروی گرانش

اولین ثابت طبیعی که در فیزیک ظاهر شد ثابت گرانش (ثابت نیروی جاذبه) بود. ثابت گرانش در سال ۱۶۸۶ از جانب ایساق نیوتن در توضیح اندرکنش میان دو جرم معرفی گردید. به این معنا که وقتی دو جرم یکدیگر را جذب می‌کنند نیروی میان آن دو متناسب است (بیان متناسب در ریاضی با علامت ~ نشان داده می‌شود) با حاصل‌ضرب دو جرم تقسیم بر مربع فاصله میان دو جرم. اما برای محاسبه نیروی میان دو جرم لازم است علامت ~ با علامت متساوی = جایگزین شود و این عمل در صورتی مجاز است که ضریبی به نام ثابت گرانش که با حرف G نشان داده می‌شود $(F = G \frac{m_1 m_2}{r^2})$ در نظر گرفته شود. تعیین اندازه‌ی این ضریب تنها از طریق اندازه‌گیری ممکن است. اندازه‌گیری‌ها مقدار ثابت گرانش را برابر با $G = 6,67430 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 / \text{kg s}^2$ نشان می‌دهند. خطای اندازه‌گیری G کوچکتر از 10^{-11} می‌باشد!

۲. ثابت‌های طبیعی نیروی الکترومغناطیسی

دومین ثابت طبیعی از پارامترهای بنیادی ثابت ساختار ریز (fine-structure constant) نام دارد. این پارامتر به‌خاطر آن‌که اولین بار آرنولد زومرفلد فیزیکدان آلمانی آن را در سال ۱۹۱۱ بحث و ۱۹۱۶ معرفی کرد به ثابت زومرفلد نیز معروف است و با حرف یونانی α (آلفا) نشان داده می‌شود. ثابت زومرفلد ویژگی قدرت برهم‌کنشی نیروی الکترومغناطیسی (ذرات فوتون) با ذرات باردار مانند الکترون را مشخص می‌کند. ثابت α این امکان را به ما می‌دهد که ساختار ریز اتم‌ها را بررسی کنیم. اندازه ثابت α مساوی است با $\alpha = 0,00729735257$ که از مربع بارالکترون تقسیم بر سرعت نور و ثابت پلانک $(\alpha = \frac{e^2}{c \hbar} \approx \frac{1}{137})$ حاصل می‌شود. هر یک از سه کمیت نامبرده دارای اندازه‌های ثابتی هستند. اما ما علت ثابت بودن آن‌ها را نمی‌دانیم. ثابت زومرفلد بدون بُعد، یعنی یک عدد خالص، است. تعیین اندازه ثابت زومرفلد نیز تنها بطرز تجربی (آزمایشگاهی) ممکن می‌باشد. (علامت ~ به معنای حدودا است.)

پژوهش‌های تیم تئودر هنش Theodor Hänsch فیزیکدان آلمانی از مؤسسه ماکس پلانک نشان می‌دهند که ثابت زومرفلد تا ۵ رقم بعد از ممیز در طول ۴ سال ثابت بود. بسیاری چیزها در دنیا شکل دیگری پیدا می‌کردند چنانچه ثابت α اندازه دیگری داشت و یا تغییر می‌کرد، چراکه ساختار اتم‌ها و ملکول‌ها تابع ثابت α می‌باشند. برای مثال ساختار اتم‌های تشکیل دهنده ملکول آب تابع ثابت زومرفلد است. کوچکترین تغییری در اندازه‌ی این ثابت باعث تغییر شکل ملکول آب و با آن فقدان حیات به‌شکلی که می‌شناسیم می‌شود.

در نظریه برهم‌کنش نیروی الکترومغناطیسی با ذرات باردار معروف به نظریه کوانتوم الکترودینامیک علاوه بر ثابت

طبیعی α جرم ثابت الکترون m_e نیز مطرح است، جرمی بسیار کوچک که تعیین اندازه آن تنها از طریق آزمایش امکان پذیر است. اندازه گیری ها جرم ذره الکترون را برابر با $m_e = 9,1093837015 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ نشان می دهند.

۳. ثابت طبیعی نیروی قوی

نیروی قوی یا نیروی هسته‌ای، قابل توضیح در نظریه‌ای به نام نظریه کرومودینامیک، قدرت برهمکنش میان کوارک‌ها و گلوئون‌ها (ذرات تشکیل دهنده پروتون‌ها و نوترون‌ها) را مشخص می‌کند. ثابت طبیعی این نیرو مشابه ثابت زومرفلد تعریف می‌شود. اندازه ثابت طبیعی نیروی قوی، تعیین شده از طریق آزمایش، حدودا برابر با $0,12$ است. یعنی، تقریبا 16 برابر ثابت الکترومغناطیسی زومرفلد می‌باشد.

۴. ثابت طبیعی نیروی ضعیف

ذرات ناپایدار و برهمکنش ضعیف ثابت طبیعی خاص خود α_w ، مشابه ثابت زومرفلد، را دارند. (w برای نیروی ضعیف (weak interaction). اندازه گیری‌ها مقدار این ثابت را حدود $0,0316 \approx \alpha_w$ نشان می‌دهند. ثابت α_w بیان از برهمکنش میان ذرات ضعیف باردار (بوزون‌ها، لپتون‌ها و کوارک‌ها) دارد. قدرت برهمکنش ضعیف توسط ثابت α_w و جرم W-بوزون حدود $m_w \approx 1,433 \cdot 10^{-25} \text{ kg}$ مشخص می‌شود.

ما تاکنون با 8 ثابت طبیعی آشنا شدیم. اما این ثابت‌ها همه ثابت‌های طبیعی شناخته شده نیستند. در کیهان، ذراتی (Myon; Tauon; s-, c-, b-, t- Quark, Higgs-Boson و 3 نوترینو و مخلوطی از ذرات کوارک و نوترینو) با 18 ثابت طبیعی دیگر وجود دارند، یعنی در مجموع 26 ثابت طبیعی^۱. (از توضیح جزئیات صرف نظر می‌شود).

سؤال: علت اندازه خاص ثابت‌های طبیعی چیست؟

جواب: نمی‌دانیم. هیچ روشن نیست که آیا ثابت‌های طبیعی از قانون خاصی تبعیت می‌کنند یا حاصل از یک اتفاق، کوتاه زمانی بعد از بیگ‌بنگ، می‌باشند. اما این را دریافته‌ایم که حیات تنها زمانی امکان پذیر است که ثابت‌های طبیعی اندازه‌های کاملا خاصی داشته باشند.

آیا ثابت‌های طبیعی واقعا ثابت هستند؟

برای دادن پاسخ به این پرسش یکی از ثابت‌های طبیعی توضیح داده شده در بالا، ثابت زومرفلد α ، را در نظر می‌گیریم، ثابتی که انتشار پرتو الکترومغناطیسی را توصیف می‌کند. ساده‌ترین راه برای اندازه گیری α و تغییر آن آنست که طیف نور ایزوتک بسیار دور، برای مثال در فاصله ده میلیارد سال نوری، را بررسی کنیم. فیزیکدان‌ها موفق شدند از این طریق، یعنی بررسی نور حاصل از انتقال پرتو در اتم‌های (radiation transitions in atoms) چندین ایزوتک، نشان دهند که ثابت زومرفلد میلیاردها سال پیش اندکی با آنچه امروز می‌سنجیم متفاوت بود! البته این تفاوت زیاد نیست اما وجود دارد؛ حدود 10^{-5} کوچکتر از حال حاضر. ولیکن این مسئله هنوز میان فیزیکدان‌ها مورد مناقشه می‌باشد و اجماع کلی پیدا نکرده است.

تغییر ثابت زومرفلد و ثابت‌های طبیعی دیگر چه پیامدهائی می‌توانند برای کیهان داشته باشند؟ در زیر این مطلب را بررسی می‌کنیم.

کیهانی متفاوت از کیهان ما؟

چه اتفاقی قابل تصور است چنانچه اندازه ثابت‌های طبیعی آنی نبودند که هستند؟ آیا کیهان شکل دیگری پیدا می‌کرد؟ برای این منظور اکتفا به تشریح وضعیت حاصل از تغییر یک یا دو ثابت از ثابت‌های نیروی بنیادی می‌کنیم. از تغییر ثابت‌هایی که بیشترین حس نزدیکی را با آن‌ها داریم، یعنی ثابت نیروی گرانش (ثابت نیروی جاذبه نیوتن) و ثابت نیروی الکترومغناطیسی (ثابت زومرفلد).

۱. ثابت گرانش

پیش‌تر در بخش نیروهای بنیادی گفتیم که نیروی گرانشی ضعیف‌ترین نیرو (با قدرت نسبی 10^{-41}) در میان 4 نیروی اساسی است. با این حال نیروی گرانشی در ابعاد بزرگ تعیین کننده‌ترین نیرو می‌باشد، به ویژه در اندازه‌های کیهانی. چه اتفاقی می‌افتد اگر قدرت نسبی این نیرو تنها اندکی بزرگتر و یا اندکی کوچکتر از آنی باشد که اکنون هست؟

الف - تصور کنیم که قدرت نسبی نیروی گرانش اندکی بزرگتر بود، برای مثال 10^{-35} به جای 10^{-41} . در این صورت ما

با نیروی گرانشی ۱ میلیون برابر قوی‌تر مواجه می‌شدیم. روشن است که یک چنین نیروی گرانشی چه وضعیتی را در کل کیهان به بار می‌آورد:

تمام فاصله‌ها کوچکتر، ستارگان و کهکشان‌ها همه بمراتب فشرده‌تر می‌شدند، برای مثال اندازه خورشید ده هزار برابر کوچکتر و عمر همه آن‌ها کوتاهتر می‌شد. خورشید تنها ده هزار سال می‌درخشد و حیات فرصت شکل‌گیری پیدا نمی‌کرد.

ب- حال تصور کنیم که قدرت نسبی نیروی گرانش اندکی کوچکتر بود، برای مثال 10^{-4} به جای 10^{-41} ، یعنی هزار بار ضعیف‌تر. در این صورت فاصله‌ها بیشتر می‌شد. ستارگان و کهکشان‌ها بزرگتر بودند. خورشید زمان طولانی‌تری می‌درخشید. اما آیا محیط برای شکل‌گیری حیات مهیا بود؟ اگر تنیدگی (نیروی) کافی میان اجزاء تشکیل دهنده ساختارها وجود نداشته باشد نمی‌توان انتظار پایداری طولانی مدت ساختارها و شکل‌گیری حیات را داشت.

۲. ثابت زومرفلد

گفتیم که نیروی الکترومغناطیسی دومین نیروی قوی در میان 4 نیروی اساسی بعد از نیروی هسته‌ای است و توضیح دادیم که فیزیکدان‌ها موفق شدند با بررسی طیف نور ابرکت‌های بسیار دور دریابند که ثابت زومرفلد α میلیاردها سال پیش اندکی کوچکتر (حدود 10^{-5}) بود، هرچند که بحث و مناقشه بر سر این ارزیابی هنوز ادامه دارد اما با این حال می‌پرسیم تغییر ثابت α چه معنایی می‌تواند داشته باشد؟ در این‌جا نیز دو حالت زیر را در نظر می‌گیریم:

الف- چنانچه ثابت زومرفلد اندکی کوچکتر از $0.7/0.0$ باشد امکان شکل‌گیری ساختارهای گوناگون به شکلی که می‌شناسیم وجود ندارد، چرا که ساختارها از اتم‌ها و ملکول‌ها تشکیل شده‌اند و این‌ها بر اثر کوچکتر بودن ثابت α دیگر آن انسجام کافی را ندارند و از هم پاشیده (شکسته) می‌شوند. طبیعی است که در چنین وضعیتی نمی‌توان انتظار شکل‌گیری ساختارهای پایدار از جمله حیات را داشت.

ب- چنانچه ثابت زومرفلد اندکی بزرگتر از $0.7/0.0$ باشد در این صورت قدرت نیروی الکترومغناطیسی میان ذرات هسته اتم قوی‌تر از نیروی هسته‌ای خواهد بود و منجر به فروپاشی هسته اتم‌ها می‌گردد. در نتیجه شکل‌گیری اتم‌ها (عناصر شیمیایی) و با آن ملکول‌ها، ساختارها از جمله سیستم‌های فیزیکی زنده، حیات، ناممکن می‌شود.

سخن پایانی

در ابتدای مقاله این پرسش را مطرح کردیم که اگر ثابت‌های طبیعی واقعا ثابت نباشند سرنوشت قوانین اساسی و ادعای جهانشمول بودن علم چه می‌شود. در طول مقاله با مقوله نیروهای بنیادی یا در هم‌کنش‌های 4 گانه و همین‌طور با مقوله ثابت‌های طبیعی مربوط به این نیروها تا حدودی آشنا شدیم.

چنانچه فیزیکدان‌ها در ارزیابی خود از اندازه ثابت‌های طبیعی، نه فقط ثابت زومرفلد، به نتیجه واحدی برسند، به این معنا که دریابند ثابت‌های طبیعی آن‌گونه که تاکنون فکر می‌کردیم چندان هم ثابت نیستند در این صورت می‌باید نه تنها از ادعای جهانشمول بودن قوانین اساسی چشم‌پوشی کنیم بلکه به قوانینی بیاندیشیم که در زمان‌های بسیار دور گذشته به شکل دیگری بودند و در زمان‌های بسیار دور آینده شکل دیگری خواهند داشت. یعنی، کیهانی را تصور کنیم که نه به صورت خطی بلکه احیانا به شکل غیرخطی تغییر می‌کند.

با توجه به نکات بیان شده لازم است این امر مهم را نیز مدنظر داشته باشیم که قوانین علم (فیزیک) کنونی ما معطوف به طبیعت ایده‌آل فرمول‌بندی شده‌اند و نه طبیعت واقعی. ما در این عرصه با سؤال‌ها و مسائلی روبرو هستیم که هنوز پاسخی برای آن‌ها نداریم. توجه داشته باشیم که در پس همه تلاش‌هایمان چیزی نهفته است به نام توانایی‌شناختی (Erkenntnisfähigkeit) که بدون آن توان هیچ کاری را نداریم.

لینک تصویر مقاله

1. https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcT5fkgpAXzPV0F8MySFK_5a-4N1XuL0Mepn2w&usqp=CAU

XX