مفاهیمی در فیزیک نظری

Concepts in theoretical Physics,

- مکانیک نیوتنی شروع فیزیک نظری است، قانون $\vec{F} = m\ddot{\vec{x}}$ $\left(\vec{F} = \frac{d\vec{P}}{dt}\right)$

حرکت اجرام سماوی و افتادن سیب در زمین را در یک چارچوب می‌توانید توضیح دهید.

Phibsophiae Naturalis Principia Mathematica

5 July 1687 - Newton.

ی

است تا 150 سال آینده با کارهای ریاضی فیزیکدانانی مانند اویلر - لاگرانژ، همیلتون، ...

مکانیک به روش دیدگاهی جدیدی فرمولبندی شد که

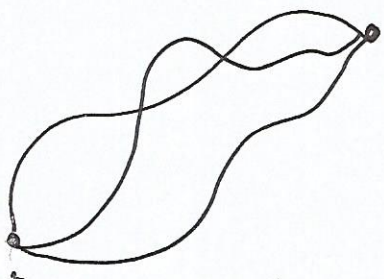
1. زیباشناختی
2. قدرت بیشتر برای حل مسئله
3. عمیق شهودی بیشتر

- عمل شهودی پشت این معناست که اصل حاکم، این فرمولبندی جدید را می‌توان سایر حیطه‌های فیزیک تعمیم داد.

$$S = \int_{t_1}^{t_2} dt\, L$$

↓ ↓

کنش — لاگرانژی



هر پتانسیل مسیری است که کنش را ایستا نوع می‌کند.

$\delta S = 0$ اصل وردش ؛ $\mathcal{L} = \mathcal{L}(q, \dot{q}; t)$ تابع معادله اویلر-لاگرانژ

$$\frac{d}{dt}\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \dot{q}} - \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial q} = 0$$

مختصات تعمیم یافته

وحدت نیروهای فیزیک

تمام فیزیک بنیادی را می‌توان با لاگرانژی و اصل وردش توضیح داد.

مکانیک + الکترومغناطیس + ذرات بنیادی + نسبت خاص (۱۹۰۵)

همه نظریه‌های فراتر از تجربه امروز

$$\mathcal{L} \sim R - \frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} + i\bar{\psi}\gamma^{\mu} D_{\mu}\psi + |D_{\mu}h|^2 - V(|h|)$$

Maxwell

نظریه استاندارد

Einstein — Yang-Mills — Dirac — Higgs

$$+ h\bar{\psi}\psi$$

Yukawa

رابطه بالا مانند اثر هنری است و دلیلی برای بهم آمدن کنونی نیست، فقط برای سرفی

R : گرانش

$F_{\mu\nu}F^{\mu\nu}$: توضیح الکترومغناطیس ← تعمیم ← نیروهای قوی و ضعیف

به یانگ-میلز

3

$i\bar{\psi}\gamma^{\mu}D_{\mu}\psi$: توضیح فرمیون ها (الکترون ها، کوارک ها و نوترینوها ...)

Higgs + Yukawa برای جرم دار کردن ذرات

از مکانیک کلاسیک به مکانیک کوانتوم

در مکانیک کلاسیک در فرمولبندی لاگرانژی ذره به نظری رسد که تنها مسیر را می داند! و انتخاب می کند!

اما در مکانیک کوانتوم به نظری رسد که ذره همه مسیرها را امتحان می کند

(Feynman's Path Integral)

Thirty-one years ago, Dick Feynman told me about his "Sum over histories" version of QM.

"The electron does anything it likes" he said.

"It just goes in any direction at any speed, ...

however it likes, and then you add up the amplitudes and it gives you the wavefunction".

I said to him, "You're crazy". But he wasn't ..."

Freeman Dyson

4/

احتمال رفتن ذره از $\vec{r}_1$ به $\vec{r}_2$ = $Prob = |A|^2$

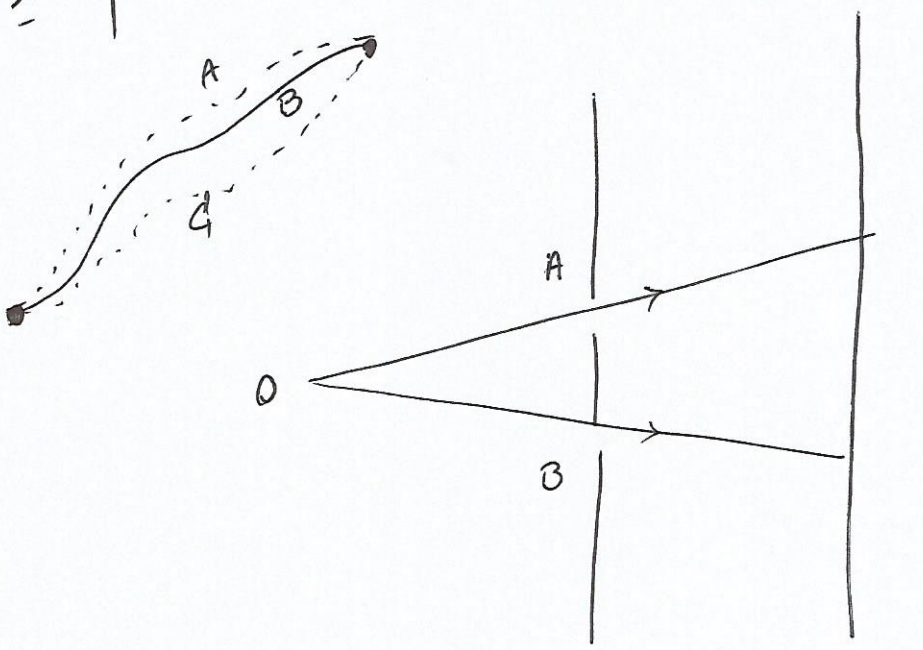
$A = \sum_{\text{تمام مسیرها}} e^{iS/\hbar}$

$\hbar = 1.05 \times 10^{-34}\ J.s$ کمیت دیراک

یادآوری کنش از جنس اندازه حرکت زاویه‌ای است.

□ تجربه: آزمایش دو شکاف

وضع پراش روی صفحه



□ مکانیک کوانتوم

در مکانیک کوانتوم، حالت سیستم را به صورت بردار در نظر می‌گیریم.

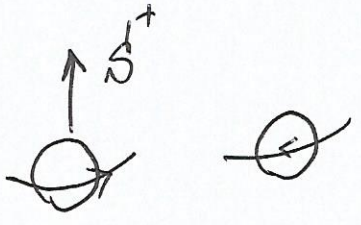
اسپین‌ها به خوان

$|\uparrow\rangle \equiv \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$ $|\downarrow\rangle \equiv \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$

مثال انحراف از مفاهیم کلاسیک، بدین معنی که در مکانیک کلاسیک

اسپین بالا یا پایین نبی در مکانیک کوانتومی

حالت اسپین ترکیبی از دو حالت است.



$|\psi\rangle = \alpha|\uparrow\rangle + \beta|\downarrow\rangle = \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \end{pmatrix}$ qubit (quantum bit)

مشاهده پذیرها، ماتریس های هرمیتی هستند مانند انرژی، تکانه و اسپین و ...

ماتریس مربوط به اندازه گیری اسپین در x و y، z به صورت زیر است

$$X=\begin{pmatrix}0&1\\1&0\end{pmatrix} \quad Y=\begin{pmatrix}0&-i\\i&0\end{pmatrix} \quad Z=\begin{pmatrix}1&0\\0&-1\end{pmatrix}$$

$$Z|\uparrow\rangle=+1|\uparrow\rangle \quad \text{and} \quad Z|\downarrow\rangle=-1|\downarrow\rangle$$

حالت های اندازه گیری شده، ویژه مقادیر هستند.

ویژه بردار پس از اندازه گیری به یک حالت خاص فروی کاهد.

$$|2\rangle \xrightarrow{m_i} |i\rangle$$

□ اصل عدم قطعیت:

$$\Delta x\,\Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$$

برخلاف مکانیک کلاسیک که می توان موقعیت و تکانه را با دقت خوبی اندازه گیری کرد. (بسته به دقت آزمایش) ولی علی الاصول با دقت بی نهایت

در حالی که در مکانیک کوانتوم چنین نیست

یادآوری پواسون براکت ها و قضیه لیوویل

$$\{q, H\}=\dot{q}$$
$$\{p, H\}=\dot{p}$$

} معادله همیلتون

$$\Delta q\,\Delta p = cte$$

$$\{q, p\}=1 \xrightarrow{\text{تبدیل به براکت}} [q, p]=i\hbar$$

□ مکانیک آماری

More is Different,

سیستم‌های چند ذره، فیزیک پراکنده!

تفاوت بین گذشته و آینده و قانون دوم ترمودینامیک (افزایش انتروپی - جی نظمی)

$$S = k \log W \qquad k = 1.38 \times 10^{-23} \ J/Kelvin$$

↓ تعداد حالت‌های سیستم

$$\frac{dS}{dt} \geq 0 \ , \quad \text{arrow of Time}$$

□ انتروپی و سیاهچاله‌ها:

هر سیاهچاله با سه کمیت مشخص می‌شود: جرم، اسپین و بار الکتریکی. این داستان نه متفاوت از این که سیاهچاله از چه چیزی ساخته شده است. ۳ کمیت تبدیل می‌شود را No HAIR THEOREM می‌گویند.

آیا سیاهچاله‌ها اطلاعات را از بین می‌برند؟ آیا انتروپی را از بین می‌برند؟
آیا قانون دوم ترمودینامیک نقض می‌شود؟

ترمودینامیک سیاهچاله‌ها، تابش هاوکینگ و سایر قضایا...

7/

Bekenstein's - Hawking's formula. انتروپی سیاهچاله‌ها

$$S_{BH} = \frac{1}{4}\frac{A}{l_p^2} \qquad l_p = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}} \approx 10^{-35}\ m$$

طول پلانک

- نظریه گرانش کوانتومی

- انتروپی - تئوری اطلاعات

کتاب مفاهیم نظریه‌ای که نسبیت را نور می‌دهد!

$$\begin{cases} \vec{\nabla}\cdot\vec{E} = \rho/\varepsilon_0 \\ \vec{\nabla}\cdot\vec{B} = 0 \\ \vec{\nabla}\times\vec{E} = -\dfrac{\partial\vec{B}}{\partial t} \\ \vec{\nabla}\times\vec{B} = \mu_0\vec{J} + \mu_0\varepsilon_0\dfrac{\partial\vec{E}}{\partial t} \end{cases}$$

$$+\ \frac{\partial\rho}{\partial t} = -\vec{\nabla}\cdot\vec{J}$$

$$\vec{\nabla}\times(\vec{\nabla}\times\vec{E}) = -\frac{\partial}{\partial t}\vec{\nabla}\times\vec{B}$$

$$\vec{\nabla}(\vec{\nabla}\cdot\vec{E}) - \nabla^2\vec{E} = -\left(\mu_0\varepsilon_0\frac{\partial^2\vec{E}}{\partial t} + \mu_0\frac{\partial\vec{J}}{\partial t}\right)$$

$\vec{\nabla}\cdot\vec{E} = \rho/\varepsilon_0 = 0$

$$\mu_0\varepsilon_0\frac{\partial^2\vec{E}}{\partial t^2} - \nabla^2\vec{E} = 0$$

$$v \equiv \frac{\lambda}{T} = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}} = c$$

The Speed of Light is independent of the motion of the observe

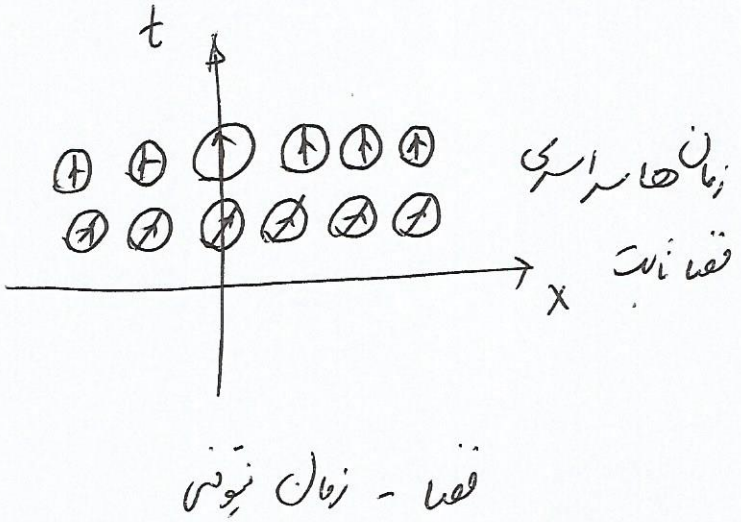
→ نسبیت

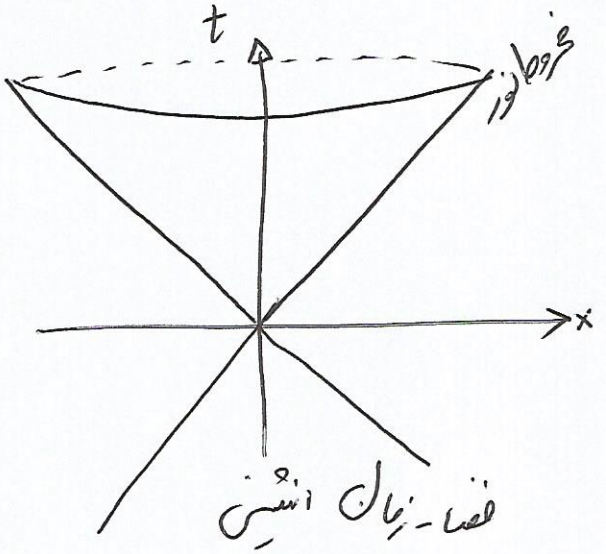
نسبیت خاص:

آزمایش مایکلسن مورلی 1881 - 1887 که سرعت نور مستقل از ناظر است، این نتیجه تجربی که سرعت نور ثابت است تأثیر عمیقی بر هم ما از زمان گذاشته است.

H. Poincaré, H. A. Lorentz, A. Einstein.

1. قوانین فیزیک در تمام دستگاه های لخت یکسان است (Relative postulate...)
2. سرعت نور در خلاء ثابت است مستقل از ناظر می باشد.





تبدیلات گالیله

$$\begin{cases} x_1' = x_1 - vt \\ x_2' = x_2 \\ x_3' = x_3 \\ t' = t \end{cases}$$

تبدیلات لورنتس

$$x_1' = \gamma (x_1 - vt)$$

$$x_2' = x_2$$

$$x_3' = x_3$$

$$t' = \gamma \left(t - \frac{v}{c} x_1 \right)$$

$$\gamma \equiv \frac{1}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}$$

9/

طول فضای اقلیدسی $(\Delta S)^2 = (\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2$

کمیتی که تحت تبدیلات گالیله ناوردا است.

طول فضا - زمان اقلیدسی $ds^2 = c^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2$

حرکت در 1 بعد را می‌خواهیم نشان دهیم که تبدیلات لورنتس طول فضا - زمانی را خط‌ی کند.

$$ds'^2 = c^2 dt'^2 - dx'^2 = c^2$$

$$= c^2 \gamma^2 (dt - \frac{v}{c} dx)^2 - \gamma^2 (dx - v\,dt)^2$$

$$= c^2 \gamma^2 \left[dt^2 + (\frac{v}{c})^2 dx^2 - \frac{2v}{c} dx\,dt - \frac{dx^2}{c^2} - \frac{v^2}{c^2} dt^2 + \frac{dx\,dt}{c^2} \right]$$

$$= c^2 \gamma^2 \left[dt^2 (1 - \frac{v^2}{c^2}) - \frac{1}{c^2} (dx^2 - v^2 dx^2) \right]$$

$$= c^2 dt^2 \underbrace{\gamma^2 (1 - \frac{v^2}{c^2})}_{1} - \underbrace{\gamma^2 dx^2 (1 - \frac{v^2}{c^2})}_{1}$$

$$= c^2 dt^2 - dx^2 = ds$$

$$\boxed{ds = ds'}$$

ازبردار به چهاربردار و مفهوم تر فضا - زمان

$$x^i \begin{cases} t \\ x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{cases} \rightarrow X^\mu = (x^0, x^1, x^2, x^3)$$

مولفه زمان ↓ — مولفه فضا - گونه

$i = 1, 2, 3$

قسمت فضایی

$$ds^2 = \eta_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu \qquad c = 1$$

تنسور متریک

$$\eta_{\mu\nu} = \begin{pmatrix} 1 & & & \\ & -1 & & \\ & & -1 & \\ & & & -1 \end{pmatrix}$$

$$ds'^2 = \eta_{\mu\nu} dx'^\mu dx'^\nu = \eta_{\mu\nu} \Lambda^\mu_\alpha dx^\alpha \Lambda^\nu_\beta dx^\beta$$

$$dx'^\mu = \Lambda^\mu_\alpha dx^\alpha \qquad = \eta_{\mu\nu} \Lambda^\mu_\alpha \Lambda^\nu_\beta dx^\alpha dx^\beta$$

ماتریس تبدیل لورنتس

$$= \eta_{\alpha\beta} dx^\alpha dx^\beta$$

$$\eta_{\alpha\beta} = \eta_{\mu\nu} \Lambda^\mu_\alpha \Lambda^\nu_\beta$$

در نتیجه ماتریس های تبدیل لورنتس در تبدیل بردارها صادق می کنند.

11/

سؤال: آیا نظریه‌های توصیف صفحه با دو نظریه نسبیت خاص و مکانیک کوانتومی چه‌زمان محدود می‌شوند؟

یکی از زاویه‌های فیزیک نظری، نظریه میدان‌های کلاسیک است.

مجموعه‌ی مفهوم ذره و مکان و سرعت آن مفهوم میدان را معرفی می‌کند.

هر نقطه از فضا یک عدد نسبت می‌دهیم $\phi = \phi(\vec{x})$

در نتیجه می‌توان لاگرانژی - میدان را به صورت زیر نوشت

$$\mathcal{L} = \frac{1}{2}\partial_\mu \phi \partial^\mu \phi - V(\phi)$$

$\mu = 0, 1, 2, 3$

معادله اویلر-لاگرانژ

$$\partial_\mu \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial(\partial^\mu \phi)} - \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \phi} = 0$$

معادله حرکت میدان

$V(\phi) = 0$ میدان آزاد $\rightarrow$ $\Box \phi = 0$

نظر میدان کوانتومی روشی برای بررسی نیروهای بنیادی طبیعت است.

نظریه گرانش کوانتومی، تاکنون در افق نیست.

مطالعه کیهان‌شناسی سؤالات جدیدی مانند ماده تاریک، انرژی تاریک و ... را به ذهن خطور داده است.

ماغرام - اردیبهشت ۹۴