

Харьцангуйн онол ба их энергийн физик

Ц.Баатар, Г.Шархүү

ШУА, ФТХ

Харьцангуйн онол, ялангуяа харьцангуйн тусгай онол нь их энергийн буюу эгэл бөөмийн физикт онцгой ач холбогдолтой. Их энергийн физик нь асар их хурдтай бөөмүүдийн үйлчлэл, амьдрах хугацаа, масстай холбоо бүхий шинжлэх ухааны салбар тул хугацаа болон хэмжээ багасах, масс ихсэх системүүд алхам тутам тохиолддог. Энэ бүхнийг нарийн тооцох шаардлага гардаг. Харин их энергийн физикт хэрэглэгддэг онцгой нэгжийн системээс хамаарч зарим хэмжигдэхүүнүүд ердийн физикт бичигддэгээсээ өөр хэлбэртэй болдог.

Харьцангуйн онолд энергийн илэрхийлэл:

$$E = mc^2 \quad (1)$$

гэж бичигдэнэ. Үүний массыг тайвны массаар соливол

$$E = \gamma \cdot mc^2 \quad (2)$$

болно. Одоо их энергийн физикт $c = \hbar = 1$ гэсэн нэгжийн системийг ашигладгийг тооцвол, Лоренц фактор

$$\gamma = \frac{E}{m} \quad (3)$$

гэсэн хэлбэртэй болно. Ийм маягаар гарган авсан хэмжигдэхүүнүүд: энерги, хурд, хурдыг лоренц фактороор үржүүлсэн үржвэр зэргийг ердийн физикт буюу харьцангуйн онолд байдаг илэрхийллүүдтэй нь харьцуулан дор сийрүүлэв.

Хэмжигдэхүүн	Харьцангуйн онол	Их энергийн физик
γ	$\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$	$\frac{E}{m}$
E	mc^2	$\sqrt{P^2 + m^2}$
v	$\frac{P}{m}$	$\frac{P}{E}$
$v \cdot \gamma$	$\frac{v}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$	$\frac{P}{m}$

Мөн харьцангуйн онолд 4 хэмжээст огторгуйг авч үздэг бол их энергийн физикт 4 хэмжээст импульс гол үүрэгтэй байна. 4 хэмжээст огторгуйн скаляр компонент нь хугацаа, 4 хэмжээст импульсийн скаляр хэмжигдэхүүн нь энерги байдаг.

Эдгээрийг харгалзуулан үзвэл:

Харьцангуйн онол Их энергийн физик

$$x_4 \quad P_4$$

$$t \quad E$$

Эгэл бөөмсийн хувьд тэдгээрийн биелэг болон долгионлог чанарыг ашиглан энергийг нь

$$E = mc^2 = h\nu \quad (4)$$

гэж бичиж болдог. Энэ томъёонд $c = \hbar = 1$ гэдгийг тооцвол сонирхолтой үр дүнд хүрч микроертөнцийн физикт макроертөнцийн физикийн нэгжүүд зөвхөн нэг нэгжид шилжин орно. Жишээ нь:

$$\text{кг} \rightarrow \text{ГэВ}, \quad \text{метр} \rightarrow \frac{1}{\text{ГэВ}}$$

$$\text{сек} \rightarrow \frac{1}{\text{ГэВ}}; \quad \text{ккал} \rightarrow \text{ГэВ}$$

гэх мэт. Бид ГэВ -ээр эгэл бөөмийн физикт бүх хэмжигдэхүүнүүдийг хэмжиж болохыг харж байна. Одоо тэдгээрийн холбоог тодорхой бичье.

$$1 \text{ ГэВ} = 1.7827 \cdot 10^{-27} \text{ сек}$$

$$\frac{1}{\text{ГэВ}} = 0.1965 \cdot 10^{-15} \text{ метр}$$

$$\frac{1}{\text{ГэВ}} = 6.5822 \cdot 10^{-25} \text{ сек}$$

$$\text{ГэВ} = 3.83 \cdot 10^{-20} \text{ ккал}$$

Энэ бичсэнээс хэрэв үйлчлэх бөөмсийн энерги тодорхой байвал үйлчлэл явагдах зай, хугацаа зэргийг урьдчилан үнэлж болох нь тодорхой байна. Энэ маш чухал бөгөөд цөмийн дотор, бүр бөөмийн дотор (хэрэв бөөм нь бүтэцтэй бол) нэвтрэн орохын тул хэдий хэр энергитэй бөөм байх шаардлагатай вэ? гэдгийг урьдаас тооцоолох боломжтой юм.

Дээр бичсэнээс тодорхойгүйн зарчим

$$\Delta E \cdot \Delta t \approx \hbar \quad (5)$$

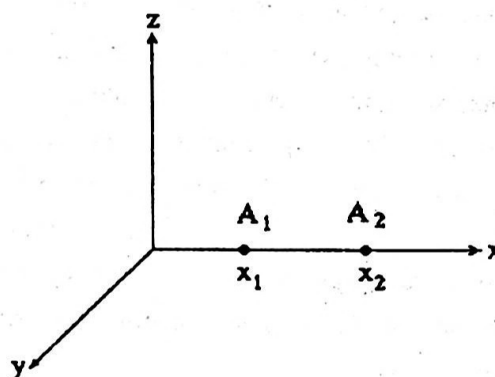
гэсэн илэрхийлэл $\Delta m \cdot \Delta t \approx 1$ болж хувирах нь тодорхой. Эгэл бөөмийн физикт үүнийг ашиглан резонанс хэмээх богино наст бөөмсийн амьдрах хугацааг олдог. Өөрөөр хэлбэл масс нь тодорхойлогдсон бол амьдрах хугацааг нь үнэлж болно гэсэн үг.

Тодорхой системд нэг зэрэг болсон үйл явдал бусад системд цувран болсон байдлаар үзэгддэг болохыг харьцангуйн тусгай онол нотолдог. Энэ үзэгдэл нь энерги хадгалагдах хууль зөрчигдөх шалтгаан болж болох тул дэлгэрүүлэн үзье. Үүнд, хөдөлгөөгүй байгаа системд A_1, A_2 гэсэн үйл явдлууд x_1, x_2 гэсэн цэгүүдэд нэг зэрэг болсон гэе.

Систем x тэнхлэгийн дагуу хөдөлсөн тохиолдолд A_1, A_2 үйл явдлууд болох хугацаа

$$\begin{aligned} t'_1 &= \gamma \left(t - \frac{v x_1}{c^2} \right) \\ t'_2 &= \gamma \left(t - \frac{v x_2}{c^2} \right) \end{aligned} \quad (6)$$

гэж тодорхойлогдох болно. Энэ хугацаанууд v хурдтай хөдөлж байгаа системд ялгаагүй



байвал ($t'_2 = t'_1$) аль ч системд үйл явдлууд нэгэн зэрэг болжээ гэж үзэх үндэстэй юм. Гэтэл (6) томъёоноос

$$t'_1 - t'_2 = \frac{\gamma v}{c^2} (x_2 - x_1) \quad (7)$$

гэж гарч байгаа нь үйл явдал хөдөлж байгаа системд цувран явагджээ гэдгийн нотолгоо болно. Тухайн тохиолдолд A_2 эхэлж болоод, хэсэг хугацааны дараа A_1 үйл явдал болсон байна. Энэ зүй тогтол нь санамсаргүй байдлаар энерги хадгалагдах хууль зөрчигдөхөд хүргэнэ.

Харьцангуйн онолын нэг чухал заалт нь цаг хугацаа зөвхөн ирээдүй рүү урсах ба өнгөрсөн рүү эргэх ямар ч боломжгүй гэж үздэг. Иймээс A_2 тохиолдол болох хугацаанд бид тухайн хөдөлж байгаа системийн энергийн балансыг гаргаж үзвэл

тодорхой энерги дутагдаж болох юм. Учир нь A_1 үйл явдал хэсэг хугацааны дараа болох бөгөөд түүнийг бид урьдчилан харах боломжгүй юм. Гэтэл бидний үл хөдлөх гэж үзэж байгаа системд A_1 , A_2 үйл явдлууд хоёулаа зэрэг явагдсан боловч A_1 - ийг бид хөдөлж буй системд t'_2 хугацаанд бүртгэх боломжгүй болно.

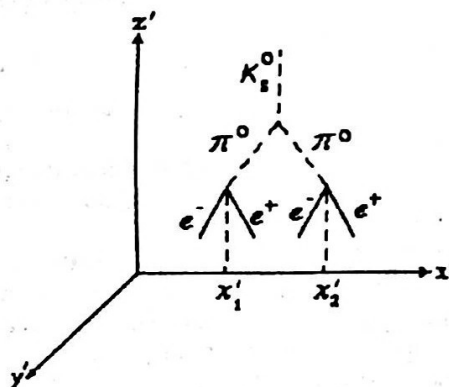
Эндээс A_1 үйл явдал явагдах энергийг бид тооцож чадахгүй тул энэ энерги дутах болно. Ийм зарчмаар бас тодорхой системд тодорхой хугацаанд энергийн илүүдэл ч гарч болох нь тодорхой.

Хугацааны өөрчлөлттэй холбоо бүхий бүх үзэгдлүүд эгэл бөөмсийн физикт тусгалаа олдог. Сансрын уудмаас ирдэг асар их энерги бүхий бөөмс агаар мандлын дээд давхаргын атом, цөмтэй үйлчилж μ - мезоныг үүсгэнэ. μ - мезонуудын амьдрах хугацаа $2.2 \cdot 10^{-6}$ сек, хурд $v \approx c$ тул 600 м орчим зам туулаад задран алга болох ёстой. Гэтэл 10 км зам туулж дэлхийн гадарга дээр их хэмжээгээр бүртгэгддэг. Энэ нь хөдөлж буй μ - мезоны тооллын систем дэх $2.2 \cdot 10^{-6}$ сек дэлхийн тооллын систем $34 \cdot 10^{-6}$ сек болж, 600 м зай нь 10 км орчим болдогтой холбоотой.

Одоо үйл явдал нэг зэрэг болох үзэгдэл эгэл бөөмсийн физиктэй хэрхэн холбогдохыг үзье.

Дэлхий орчмын зайд их энергитэй (масстай) цэнэггүй бөөм хоёр цэнэггүй бөөмд задарсан гэе. Үүссэн хоёр бөөм цэнэгт бөөмс болон задарсан тохиолдолд анх ямар бөөм задарсан, ямар бөөмс үүссэнийг тодорхойлох боломжтой. Жишээ нь:

$$K_s^0 \rightarrow \pi^0 \pi^0, \quad \pi^0 \rightarrow e^+ e^- \quad \text{гэх мэт.}$$



$$t_1 = \gamma \cdot \left(t' + \frac{vx'_1}{c^2} \right)$$

$$t_2 = \gamma \cdot \left(t' + \frac{vx'_2}{c^2} \right)$$

Электрон-позитрон хоёр хос үүсэх нь хөдөлж буй бөөмсийн системд зэрэг явагдана. Харин дэлхий дээрх ажиглагч энэ хосыг цуварч үүслээ гэж “харна”. Өөрөөр хэлбэл дэлхий дээр эдгээр хосууд цуварч бүртгэгдэх болно. Иймээс эдгээр хосууд анх ямар бөөмөөс гаралтай болохыг тогтоох боломжгүй. Харин энэ процесс дэлхий дээрх төхөөрөмжүүд дотор явагдвал задрал өгсөн анхны бөөмийг тогтоож болно.

Хурдасгуурууд дээр гаргаж чадахааргүй, шинжлэх ухаанд тогтоогдоогүй шинэ бөөмс сансрын туяанд байж болох боловч тэдгээрийг илрүүлэх боломж дээрх байдлаар хумигдана.

НОМ ЗҮЙ

- [1] Е.Бюклинг, К.Каянти, Кинематика элементарных частиц, изд., “Мир”, Москва, 1975.
- [2] Д.Перкинс, Введение в физику высоких энергий, Энергоатомиздат, Москва, 1991.
- [3] Ц.Баатар, Ч.Дэчинпунцаг, Г.Шархүү, Модерн физик, Улаанбаатар, 2004