HBT interferometria és használata a nehézion fizikában

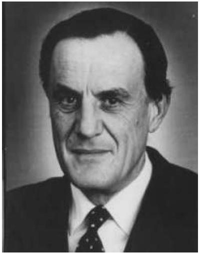
Kőfaragó Mónika

Fizikus MSc, 1. évfolyam

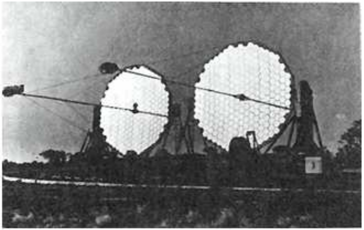
2011. október 17.

Asztrofizikai eredet

- 1956. Robert Hanbury Brown és Richard Q. Twiss: *A test of a new type of stellar interferometer on Sirius*
- Két fotoelektron-sokszorozó detektor, egymástól 6 m-re
- Korrelációt vizsgálták a két jel között $\Rightarrow$ csillag mérete



Robert Hanbury Brown



Hullámkép

- Minden pillanatban különböző interferencia kép
- Sötét és világos foltok $\Rightarrow$ konstruktív és destruktív interferencia
- Azonos folt $\Rightarrow$ korreláció a mért zajban
- Foltok mérete $\Leftrightarrow$ látószög

Hullámkép

- Minden pillanatban különböző interferencia kép
- Sötét és világos foltok $\Rightarrow$ konstruktív és destruktív interferencia
- Azonos folt $\Rightarrow$ korreláció a mért zajban
- Foltok mérete $\Leftrightarrow$ látószög

$$|A_1 + A_2|^2 = |A_1|^2 + |A_2|^2 + \underbrace{(A_1^* A_2 + A_1 A_2^*)}_{\text{V} \Rightarrow \text{ érzékeny a fotonok kibocsátásának helyére}}$$

$$\langle V^2 \rangle = 2\langle |A_1|^2 |A_2|^2 \rangle + \langle A_1^{*2} A_2^2 \rangle + \langle A_1^2 A_2^{*2} \rangle \rightarrow \langle 2 I_1 I_2 \rangle$$

Hullámkép

- Minden pillanatban különböző interferencia kép
- Sötét és világos foltok $\Rightarrow$ konstruktív és destruktív interferencia
- Azonos folt $\Rightarrow$ korreláció a mért zajban
- Foltok mérete $\Leftrightarrow$ látószög

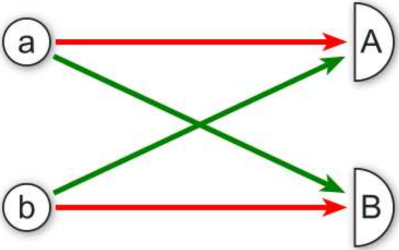
$$|A_1 + A_2|^2 = |A_1|^2 + |A_2|^2 + \underbrace{(A_1^* A_2 + A_1 A_2^*)}_{\text{V} \Rightarrow \text{ érzékeny a fotonok kibocsátásának helyére}}$$

$$\langle V^2 \rangle = 2\langle |A_1|^2 |A_2|^2 \rangle + \langle A_1^{*2} A_2^2 \rangle + \langle A_1^2 A_2^{*2} \rangle \to \langle 2 I_1 I_2 \rangle$$

- Ellenőrző mérés: higany lámpa fénye
- 1950. Nap átmérője, 1956. Cas A és Cyg A látószöge

Részecskekép

- Kvantummechanikai kérdések miatt a fizikusok szkeptikusok
- Először 1956-ban magyarázták meg Purcell segítségével
- 1961. Ugo Fano: egyszerű magyarázat



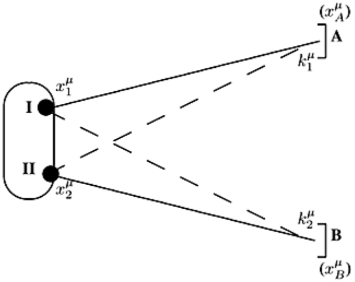
- Valószínűségek: $\langle A|a\rangle\langle B|b\rangle$ és $\langle B|a\rangle\langle A|b\rangle$
- Megmagyarázza, hogy miért nem kapunk ilyen effektust fermionoknál

Nehézion fizikai alkalmazás/ GGLP effektus

1959. G. Goldhaber, S. Goldhaber, W.Y. Lee és A. Pais:
proton-antiproton ütközések 1.05 GeV/c energián

- ρ^0 rezonanciát keresték $\rho^0 \to \pi^+\pi^-$ bomlás vizsgálatával
- Nem találták meg, de váratlan korreláció az azonos töltésű pionok között
- 1960-ban sikerült megmagyarázniuk $\Rightarrow$ ok: pionok bozonok
- Parametrizáció a korrelációs függvényre:
  $C(q^2) = 1 + e^{(q_0^2 - q^2)r^2}$, ahol $q^2 = (k_1^2 - k_2^2)$

Pont források



$$A(k_1,k_2) = \frac{1}{\sqrt{2}}[e^{-ik_1(x_A-x_1)}e^{i\Phi_1}e^{-ik_2(x_B-x_2)}e^{i\Phi_2} \pm e^{-ik_1(x_A-x_2)}e^{i\Phi_2'}e^{-ik_2(x_B-x_1)}e^{i\Phi_1'}]$$

$$\begin{aligned} P_2(k_1,k_2) &= \langle |A(k_1,k_2)|^2\rangle = \\ &= \frac{1}{2}[2 \pm e^{i(k_1-k_2)(x_1-x_2)}\langle e^{(\pm\Phi_1+\Phi_2-\Phi_1'-\Phi_2')}\rangle + k.k.] = \\ &= 1 \pm cos[(k_1-k_2)(x_1-x_2)] \end{aligned}$$

Pont források

$$A(k_i) = \frac{1}{\sqrt{2}}[e^{-ik_i(x_A - x_1)}e^{i\Phi_1} \pm e^{-ik_i(x_A - x_2)}e^{i\Phi_2}]$$

$$P_1(k_i) = \langle |A(k_i)|^2 \rangle = \frac{1}{2}[2 \pm e^{ik_i(x_1 - x_2)}\langle e^{(\pm\Phi_1 - \Phi_2)}\rangle + k.k.] = 1$$

Pont források

$$A(k_i) = \frac{1}{\sqrt{2}}[e^{-ik_i(x_A - x_1)}e^{i\Phi_1} \pm e^{-ik_i(x_A - x_2)}e^{i\Phi_2}]$$

$$P_1(k_i) = \langle |A(k_i)|^2 \rangle = \frac{1}{2}[2 \pm e^{ik_i(x_1 - x_2)}\langle e^{(\pm\Phi_1 - \Phi_2)}\rangle + k.k.] = 1$$

$$C(k_1, k_2) = \frac{P_2(k_1, k_2)}{P_1(k_1)P_1(k_2)} = 1 \pm cos[(k_1 - k_2)(x_1 - x_2)]$$

Bozonokra: $C(k_1 - k_2 = 0) = 2$
Fermionokra: $C(k_1 - k_2 = 0) = 0$
Teljesen koherens részecskékre: $C(k_1 - k_2) = 1$
Nagy relatív impulzusra: $C(k_1 - k_2) \neq 1$

Kiterjedt források

$\rho(x)$: normált téridő eloszlása a forrásnak
Fourier-transzformált:

$$\tilde{\rho}(q) = \int d^4x e^{iq^\mu x_\mu} \rho(x)$$

$$\begin{aligned} P_2(k_1, k_2) &= \\ &= P_1(k_1)P_1(k_2) \int d^4x_1 \int d^4x_2 |A(k_1, k_2)|^2 \rho(x_1)\rho(x_2) = \\ &= P_1(k_1)P_1(k_2)[1 \pm |\tilde{\rho}(q)|^2] \end{aligned}$$

ahol $q^\mu = k_1^\mu - k_2^\mu$

Kiterjedt források

$$C(k_1, k_2) = \frac{P_2(k_1, k_2)}{P_1(k_1)P_1(k_2)} = 1 \pm \lambda |\tilde{\rho}(q)|^2$$

λ: inkoherencia vagy kaotikusság paraméter

Kiterjedt források

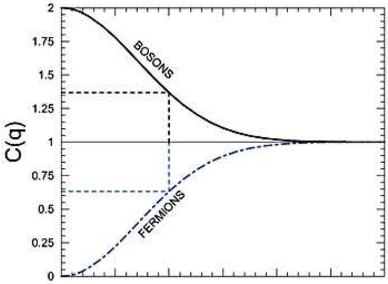
$$C(k_1, k_2) = \frac{P_2(k_1, k_2)}{P_1(k_1)P_1(k_2)} = 1 \pm \lambda |\tilde{\rho}(q)|^2$$

λ: inkoherencia vagy kaotikusság paraméter

Legegyszerűbb modell:

$$\rho(x) = e^{-x^\mu x_\mu/(2R)^2} \Longrightarrow \tilde{\rho}(q) = e^{-q^2R^2/2}$$

$$C(k_1, k_2) = 1 \pm \lambda e^{-q^2R^2}$$



Kiterjedt források

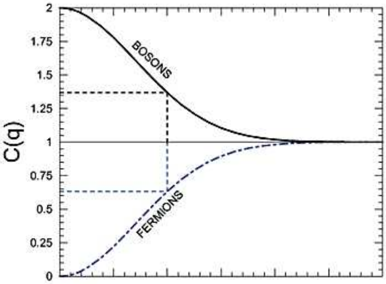
$$C(k_1, k_2) = \frac{P_2(k_1, k_2)}{P_1(k_1)P_1(k_2)} = 1 \pm \lambda |\tilde{\rho}(q)|^2$$

λ: inkoherencia vagy kaotikusság paraméter

Legegyszerűbb modell:

$$\rho(x) = e^{-x^\mu x_\mu/(2R)^2} \Longrightarrow \tilde{\rho}(q) = e^{-q^2 R^2/2}$$

$$C(k_1, k_2) = 1 \pm \lambda e^{-q^2 R^2}$$



Dinamika is fontos $\Rightarrow$ Wigner: Covariant Current Ensemble

Hivatkozások

[1] Sandra S. Padula, Braz. J. Phys. vol.35 no.1 Sao Paulo Mar. 2005

[2] Urs Achim Wiedemann, Ulrich Heinz, Phys.Rept.319:145-230,1999

[3] http://www.2physics.com/2010/11/hanbury-brown-and-twiss-interferometry.html

Hivatkozások

[1] Sandra S. Padula, Braz. J. Phys. vol.35 no.1 Sao Paulo Mar. 2005
[2] Urs Achim Wiedemann, Ulrich Heinz, Phys.Rept.319:145-230,1999
[3] http://www.2physics.com/2010/11/hanbury-brown-and-twiss-interferometry.html

Köszönöm szépen a figyelmet!