

Oneindig veel paden en complexe acties

Bachelorstage bij Theoretische Hoge Energiefysica

Tim Steenvoorden

Onder begeleiding van Wim Beenakker

20 juni 2012



Er was eens...

Een gerenommeerd theoretisch natuurkundige die

- veel heeft bijgedragen aan de *Snaartheorie*
- de *Humboldt-prijs* heeft gewonnen
- leken enthousiasmeert voor het vak

Wat gaan we doen?

Zijn naam

Holger Bech Nielsen

Professor aan het Niels
Bohr-instituut in Kopenhagen



Controversieel idee

Wat gebeurt er met de natuurkunde wanneer we een imaginair deel toevoegen aan de actie?

- “Dingen die nu gebeuren worden niet alleen beïnvloed door het verleden, maar ook door de toekomst.”
- “We krijgen het Higgsdeeltje nooit te zien, dit heeft het deeltje in de toekomst al besloten.”
- ...

Een geniaal idee of een beetje over de top?

Plan

- 1 Is dit een aanvaardbaar idee?
- 2 Met welke rekenmethoden kunnen we dit testen?
- 3 Hoe werken deze methoden ook al weer?
- 4 Hoe ziet zo'n berekening er uit?

Plan

- 1 Is dit een aanvaardbaar idee?
- 2 Met welke rekenmethoden kunnen we dit testen?
- 3 Hoe werken deze methoden ook al weer?
- 4 Hoe ziet zo'n berekening er uit?

Is dit een aanvaardbaar idee?

Valt wel mee

- Toevoeging aan bestaande wetten
- Ook gebeurt van klassiek naar kwantum
- *Zolang ze in de klassieke limiet geen invloed hebben!*

De Broglie golflengte

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

Klein ten opzichte van object

⇒

kwantum effecten verwaarloosbaar.

Plan

- 1 Is dit een aanvaardbaar idee?
- 2 Met welke rekenmethoden kunnen we dit testen?
- 3 Hoe werken deze methoden ook al weer?
- 4 Hoe ziet zo'n berekening er uit?

Met welke rekenmethoden kunnen we dit testen?

Zoektocht

- Maakt gebruik van de *klassieke actie*:

$$S = \int_{t_A}^{t_B} L(x, \dot{x}, t) dt$$

- Legt link tussen actie en *kwantummechanica*
- Doet iets met *complexe getallen*

Feynman padintegraal

$$K(B, A) = \int_{x_A}^{x_B} \exp[iS/\hbar] \mathcal{D}x(t)$$

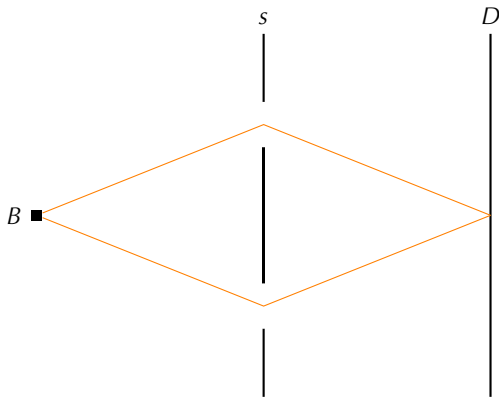
Integraal over *alle mogelijke paden* van A naar B .

Plan

- 1 Is dit een aanvaardbaar idee?
- 2 Met welke rekenmethoden kunnen we dit testen?
- 3 Hoe werken deze methoden ook al weer?
- 4 Hoe ziet zo'n berekening er uit?

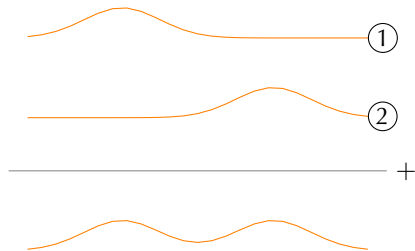
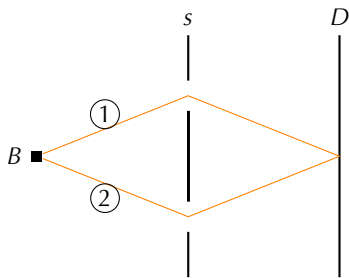
Hoe werken deze methoden ook al weer?

Two spliten experiment



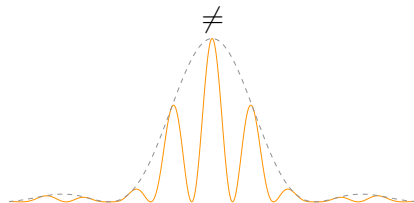
Hoe werken deze methoden ook al weer?

Interferentie



Kansen niet optellen!

$$P \neq P_1 + P_2$$



Postulaten

Postulaat 1

$$P = |\psi|^2$$

ψ is de complexe *waarschijnlijkheidsamplitude*

Postulaat 2

$$\psi = \psi_1 + \psi_2$$

die we *wel* bij elkaar mogen optellen

Postulaat 3

$$\psi_n \sim \exp[iS_n/\hbar]$$

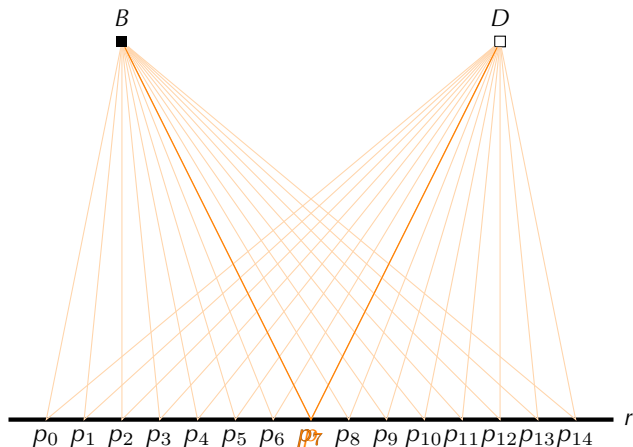
en wordt berekend met de actie!

Plan

- 1 Is dit een aanvaardbaar idee?
- 2 Met welke rekenmethoden kunnen we dit testen?
- 3 Hoe werken deze methoden ook al weer?
- 4 Hoe ziet zo'n berekening er uit?

Hoe ziet zo'n berekening er uit?

Reflecties



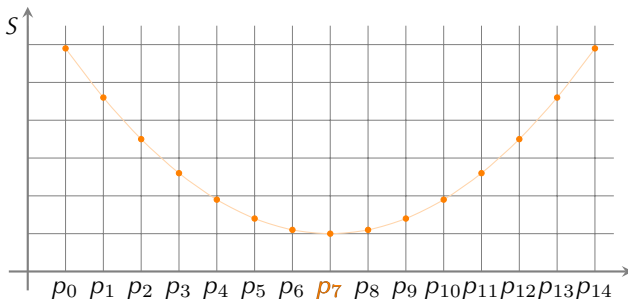
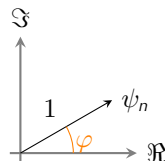
Alle paden mogen meedoen, ook paden die klassiek onmogelijk zijn.

Hoe ziet zo'n berekening er uit?

Fases en acties

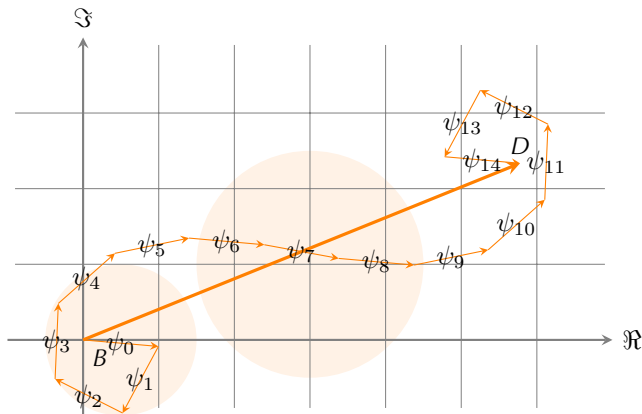
- Voor elk pad klassieke actie uitrekenen
- Geeft ons een *fasor*

$$\psi_n \sim \exp[iS/\hbar] \equiv \exp[i\varphi]$$



Hoe ziet zo'n berekening er uit?

Som over paden



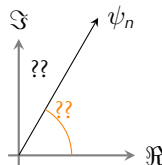
- Lengte resulterende vector geeft kans
- Dichtbij klassieke pad: fase varieert weinig
- Totaal niet klassieke paden: fases variëren snel

Hoe ziet zo'n berekening er uit?

Imaginair deel

$$S \mapsto S_r + iS_i$$

$$\varphi \mapsto \varphi_r + i\varphi_i$$



Veranderingen aan faser ψ :

- hoek
- lengte
("absorptie" of "impact" door reflecterende plaat)

Simulatie om effecten te onderzoeken

Wat hebben we gezien?

(Voorlopige) antwoorden

- 1 Aanvaardbaar om bestaande wetten uit te breiden
- 2 Testen met padintegralen
- 3 Oplossen door sommeren van fasoren
- 4 Complexe actie verandert lengte en hoek fasor