

DEUS JOGA DADOS!

Start

Pista P2

Pista P4

Pista P8

Absorvidos:

Transmitidos:

Absorvidos:

A+T = N° Total de Fotões

Total

→ Casa

> 10 → Polarizador

A+T → Absorvidos + Transmitidos

Transmitidos:

A+T = N° Total de Fotões

Total

Transmitidos:

A+T = N° Total de Fotões

Total

Deus joga dados?

Este jogo é colaborativo entre um elevado número de participantes embora seja jogado individualmente, à vez, e pretende demonstrar o cariz aleatório da física quântica. Quanto mais participantes jogarem melhor resulta a estatística e mais próximo estaremos do resultado físico expectável.

1) Inicialmente cada jogador posiciona o(s) seu(s) peão na casa de partida; esses peões representam fotões com um determinado estado de polarização.

2) Após o lançamento dos três dados, é considerada a soma dos mesmos. De acordo com o valor dessa soma, o peão avança para a casa seguinte se for cumprida a condição de transmissão ou é rejeitado e vai para a casa de chegada dos absorvidos.

3) O critério de transmissão é equivalente ao ângulo do "polarizador" atravessado: 45° entre polarizadores corresponde a dividir por 2 o ângulo reto (90°), ou seja teremos metade das probabilidades, logo soma 10. Se tivermos 4 polarizadores a dividir o ângulo reto, teremos 1/4 da probabilidade ou seja 6 e se tivermos 8 polarizadores, o ângulo entre eles será de 11,25° e a correspondente probabilidade de 4.

4) Regista-se quantos peões-fotão conseguem chegar ao final de cada percurso.

5) Após completar um percurso e atingir uma casa de chegada, cada peão-fotão é reposicionado na casa de partida e continua o seu jogo.

6) A razão entre os peões-fotão que atravessaram a cascata de "polarizadores" e o total em jogo por cada percurso poderá ser comprovada na experiência equivalente no lab de acordo com a explicação quântica para o efeito.

3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18

Somas Possíveis

Deus joga dados!

Numa das cartas de Einstein a Max Bohr, dois cientistas de renome, Einstein interroga-se dizendo: “a teoria quântica produz um bom resultado, mas dificilmente nos aproxima do segredo do Criador. Estou, em todos os casos, convencido de que Ele não joga dados.” *sic*.

Mas o processo aleatório (estocástico) da física quântica será mesmo assim? Aparentemente quando jogamos aos dados ou à roleta sabemos que UMA jogada é completamente aleatória mas para GRANDES NÚMEROS conseguimos prever um valor médio: por exemplo, jogando com dois dados, se alguém aposta sempre no 7, ao fim de muitas jogadas, ganhará sobre qualquer outra aposta! Por isso Einstein acredita que “Tudo é determinado, tanto o começo como o fim, por forças sobre as quais não temos controle... Todos dançamos numa melodia misteriosa, entoada à distância por um invisível ‘jogador’.

Ou seja, mesmo aceitando um cariz aleatório para a mecânica quântica, a física em algum ponto fica determinada... Este jogo foi criado para veres quão perto está a física dum jogo de dados!

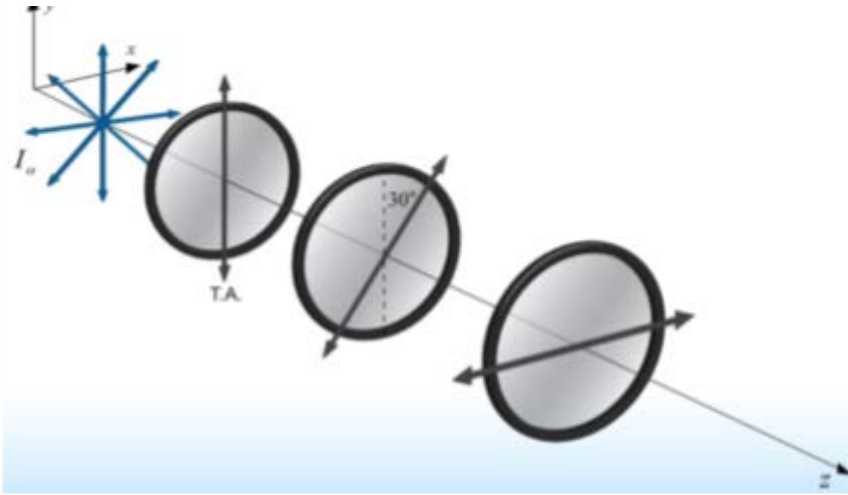
Fundamento do jogo

A luz tem uma natureza ondulatória e também quântica, pois conseguimos descrever os fenómenos físicos da luz interpretando-a como um conjunto de partículas.

Este jogo é baseado numa característica importante da luz, a sua polarização.

Os polarizadores são materiais que só se deixam atravessar para um determinado estado de polarização de cada fotão: se este estiver numa combinação de dois estados, por exemplo horizontal e vertical e se o virmos a atravessar um polarizador, então fica definido que ele tem a polarização da orientação desse polarizador. Ao pensarmos num único fotão, é interessante notar que essa passagem pelo polarizador tem uma certa probabilidade de ocorrer dependendo do ângulo da polarização inicial da luz com o eixo do polarizador. Esta probabilidade demonstra-se ser igual ao quadrado do cosseno desse ângulo.

Com efeito, se o polarizador estiver a 90° essa probabilidade é nula, ou seja toda a luz é bloqueada, e se estiver alinhado a 0° é 100%, ou seja toda a luz passa. Para valores intermédios, neste jogo, faremos uma proporcionalidade entre o ângulo e os valores da soma de três dados que sabemos variar entre 3 e 18. Como os nossos dados não começam do zero, associaremos o valor 2 ao



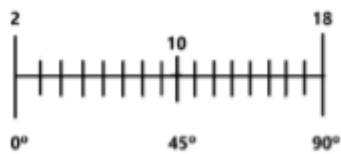
Com três polarizadores a probabilidade de um fotão emergir é de 25% já que (i) o primeiro polarizador define o estado de polarização vertical, (ii) ao passar pelo segundo, a probabilidade de o atravessar é de 50% e, se o fotão conseguir passar assumindo a polarização deste, significa que ao passar pelo próximo, o terceiro, tem outra vez 50% de probabilidade de o conseguir atravessar, ou seja totaliza 25% na saída do percurso óptico ($0.5 \times 0.5 = 0.25$).

zero e o 18 aos 90°. Deste modo, caso o fotão encontre um polarizador alinhado com o seu estado, o seu ângulo é 0° e, ao lançar os dados, obtemos um valor sempre superior a 2 pelo que o fotão nunca é absorvido pelo polarizador, ou seja, atravessa-o sempre. Pelo contrário, se estiver a 90° qualquer lançamento de dados nunca será superior a 18 e consequentemente nunca conseguirá atravessar o polarizador.

Numa gama intermédia de valores faremos a respectiva proporcionalidade ou seja, um valor de 45° corresponderá a obter um lançamento superior a 10. Para ângulos inferiores essa exigência é menor, ou seja para 22.5° será 6 e 11.25° será 4.

O percurso óptico

Neste jogo temos três percursos ou pistas (P2, P4 e P8) que atravessam 2, 4 ou 8 polarizadores. Consideramos ainda que os polarizadores dividem em partes iguais o ângulo reto, por exemplo, na pista P2 estão posicionados a 45° entre si e na pista P8 cada um está desfasado 11.25° do seu antecedente. Daí a probabilidade de passagem variar de acordo com a figura em baixo. Em cada polarizador, o fotão-peão tem de lançar os dados para o atravessar e tentar atingir a chegada... ou ser rejeitado, sendo equivalente a ser absorvido no polarizador! Cada peão representa um fotão a



Relação entre os ângulos da polarização da luz e o valor limite da soma dos dados. Por exemplo, para um ângulo de 22,5° o fotão é transmitido se essa soma for superior a seis; para 0° todos serão transmitidos porque os dados somarão pelo menos 3!

viajar no espaço, atravessando um conjunto de polarizadores descritos como a condição de passagem no tabuleiro (♦). Três peões-fotão partem em simultâneo no início do jogo mas depois vão viajando independentemente, criando a sua estatística própria, sendo esta apurada no final do jogo. Ao atingirem um alvo são reposicionados na partida, recomeçando um novo percurso enquanto um fotão renascido.

O jogo

Este jogo é colaborativo entre um elevado número de participantes embora seja jogado individualmente à vez, e pretende demonstrar o cariz aleatório da física quântica. Quantos mais participantes jogarem melhor resulta a estatística e mais próximo estaremos do resultado físico expectável. Isto pode ser conseguido com várias mesas e tabuleiros e somando os resultados no final. Cada jogador fica responsável por gerir um determinado número de peões-fotão (em princípio um mas pode haver variantes ao jogo em que cada jogador joga em pistas simultâneas) e associa-os a uma pista de determinada cor. Preenchendo a tabela seguinte, podemos calcular a razão entre os peões-fotão que atravessaram a cascata de "polarizadores" e o total de fotões em jogo por cada percurso óptico inicial.

Percurso	Absorvidos	Transmitidos	Total	% Transmitidos
Pista P2				
Pista P4				
Pista P8				

Após o jogo, poder-se-á realizar a experiência no laboratório controlado remotamente com múltiplos polarizadores, através do Qrcode abaixo, comprovando experimentalmente os resultados obtidos para o percurso com dois e quatro polarizadores.



Ligação experiência remota



Ligação página da experiência