

Jordan-Wigner

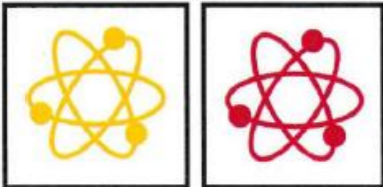


Nehmen Sie sich ein Fermion-Plättchen, wenn Sie noch keines haben.

Durch Abgabe Ihres Fermions können Sie während eines Ihrer Spielzüge eine der folgenden Aktionen durchführen:

- a. Wenn Sie auf ein Feld mit einer weiteren Figur kommen, wird diese rückwärts geschickt: die Person würfelt und geht die doppelte Augenzahl zurück
- b. Aussetzen verhindern
- c. Teleportation verhindern
- d. negative Verschränkung verhindern

Teleportation



Würfeln Sie noch einmal (max. 3 mal)

Bei nur einer Verbindung vom Spielfeld:

- Würfelerggebnis 2, 3, 4, 5 eine Teleportation findet statt! Wenn Sie nach „unten“ gehen, können Sie nochmal würfeln. Bei den gleichen Zahlen gehen Sie wieder nach „oben“
- Würfelerggebnis 1 oder 6 eine Teleportation findet nicht statt! Sie bleiben stehen

Bei zwei Verbindungen vom Spielfeld:

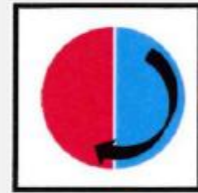
- Würfelerggebnis 4 oder 5 eine Teleportation findet statt! Sie gehen nach „oben“!
- Würfelerggebnis 2 oder 3 eine Teleportation findet statt! Sie gehen nach „unten“!
- Würfelerggebnis 1 oder 6 eine Teleportation findet nicht statt! Sie bleiben stehen

Insgesamt gilt:

- Sie können max. einmal pro Runde nach „unten“ und max. zweimal pro Runde nach „oben“ gehen.
- Sobald ein Wurf zu nichts führt, ist der Zug beendet!

Spielfeld-Regeln

Bit-Flip



Drehen Sie Ihren Würfel um!
Gehen Sie diese Augenzahl nach vorne.

Verschränkung



Wählen Sie einen Mitspieler aus!
Bei dessen nächsten Wurf gehen Sie bei:

- rot-grün (*negative Verschränkung*) dieselbe Augenzahl nach hinten!
- grün-grün (*positive Verschränkung*) dieselbe Augenzahl nach vorne!

Teilchenbeschleuniger



Würfeln Sie den 20-seitigen Würfel!
Gehen Sie diese Augenzahl vor.

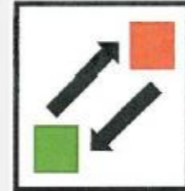
Interferenz



Würfeln Sie 1 Mal!

- 1 → Jordan Wigner
- 2 → Verschränkung
(bitte nochmals Würfeln: Verschränkung ist bei 1-3 positiv, bei 4-6 negativ)
- 3 → Teilchenbeschleuniger
- 4 → Swap-Gate
- 5 → Absoluter Nullpunkt
- 6 → Superposition

Swap-Gate



Wenn auf zwei beliebigen Swap-Gate Feldern je eine Figur steht, tauschen diese ihre Plätze

Bei mehr als einer Möglichkeit suchen Sie sich den Tauschpartner selber aus!

Absoluter Nullpunkt



Eine Runde aussetzen!
Nehmen Sie sich für diese Runde ein Nullpunkt-Plättchen.

Superposition



Würfeln Sie 2 weitere Male!
Die erste Zahl gehen Sie vorwärts, die zweite Zahl rückwärts.

Schrödingers Fragerunde

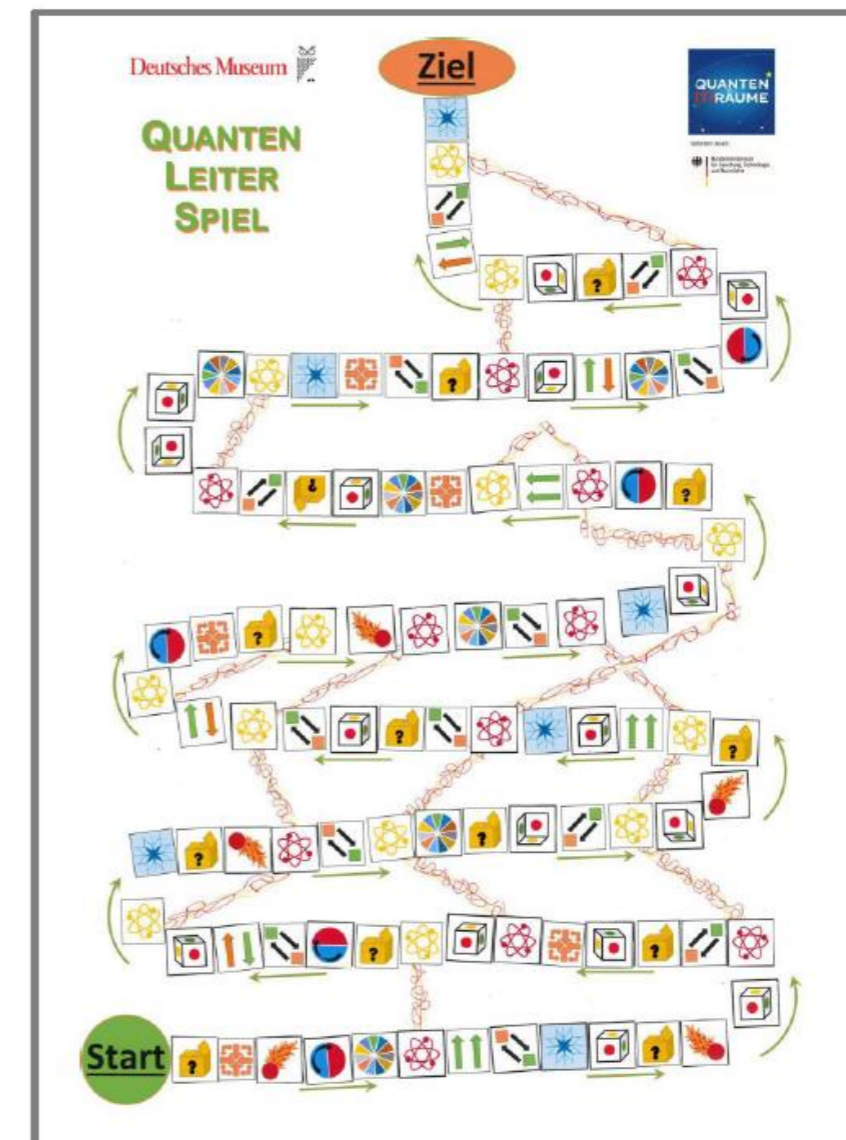


Ziehen Sie eine Karte und lesen Sie sie laut vor!

- Fragekarte:
Die Runde soll die Frage beantworten. War die Antwort richtig, gehen alle 3 Felder nach vorne.
War die Antwort falsch, wird sie erklärt, alle gehen 1 Feld nach vorne (schließlich haben alle etwas gelernt!)
- Fun Facts & Anwendungen:
alle gehen 1 Feld nach vorne (schließlich haben alle etwas gelernt!)

QUANTEN LEITER SPIEL

- Spielanleitung -



Physikalischer Hintergrund

Benötigte Spielmaterialien

- Spielanleitung** halten Sie gerade in Händen (Datei *QLS_Spielanleitung.pdf*)
- Spielfeld** bitte die Datei *QLS_Spielfeld.pdf* herunterladen und auf zwei Blatt DIN A3 Papier ausdrucken. Seite 1 entlang der Schnittlinie abschneiden und dann an der Klebefläche von Seite 1 ankleben.
- Würfel** ein ‚normaler‘ 6-seitiger Würfel (W6), ein 20-seitiger Würfel (W20))
- Spielfiguren** 8 Stück, verschiedene Farben
- Spielplättchen** * 8 Fermionen-Plättchen (siehe ‚Jordan-Wigner‘ Spielfelder)
8 Nullpunkt-Plättchen (siehe ‚Absoluter Nullpunkt‘ Spielfelder)
- Karten** * 36 Karten (Fragekarten, Fun-Facts-Karten und Anwendungskarten) jeweils 12 für Erwachsene, Jugendliche und Kinder
- * Spielplättchen und Karten befinden sich in der Datei *QLS_Spielkarten.pdf*. Bitte diese herunterladen, auf stärkeres DIN A4 Papier (z.B. 140 g/cm³ oder 160 g/cm³) ausdrucken und entlang der Schnittlinien ausschneiden.

Die Dateien für das Spiel können Sie von folgender Webseite herunterladen:
<https://www.deutsches-museum.de/forschung/forschungsinstitut/projekte/quantentraeume-modul-2>

Dieses Spiel wurde im BMFTR-geförderten Projekt
Quantent(r)äume am Deutschen Museum
von Mitarbeitern im Rahmen eines
Freiwilligen Sozialen Jahrs (FSJ) entwickelt.



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Forschung, Technologie
und Raumfahrt

Deutsches Museum



Superposition



In der Quantenphysik kann ein Teilchen in einer Superposition gleichzeitig mehrere Zustände einnehmen - z.B. an zwei Orten gleichzeitig sein.

Dieses Phänomen wird u.a. bei Quantencomputern benutzt: klassische Computer-Bits können nur die Werte 0 und 1 haben, Quantenbits können dagegen alle Zustände dazwischen annehmen.

im Spiel

Würfeln Sie 2 weitere Male.
Die erste Zahl gehen Sie vorwärts, die zweite Zahl rückwärts
Es kann durchaus passieren, dass Sie am Ende weiter hinten stehen als vorher.

Schrödingers Fragerunde



Dieses Feld ist inspiriert von Schrödingers Katze - ein berühmtes Gedankenexperiment über Ungewissheit in der Quantenphysik.

Dabei befindet sich eine Katze in einer geschlossenen Kiste in einer Superposition, ist dabei gleichzeitig lebendig und tot. Erst wenn die Kiste geöffnet und die Katze beobachtet wird, stellt man fest, welcher Zustand tatsächlich vorliegt.

im Spiel

Ziehen Sie eine Karte vom Stapel und lesen Sie sie laut vor. Es gibt dabei verschiedene Arten von Karten:

- Fragekarte:
Die Runde soll die Frage beantworten.
War die Antwort richtig, gehen alle 3 Felder nach vorne.
War die Antwort falsch, wird sie erklärt, alle gehen 1 Feld nach vorne (schließlich haben alle etwas gelernt!)
- Fun Facts & Anwendungen:
alle gehen 1 Feld nach vorne (schließlich haben alle etwas gelernt!)

(Die Karten sind nach Altersgruppen sortiert, wählen Sie bitte die passende für die Gruppe.)

Physikalischer Hintergrund

QUANTEN LEITER SPIEL

QUANTEN LEITER SPIEL

Interferenz



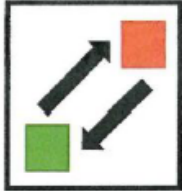
In der Quantenwelt können verschiedene Zustände überlagert sein. Dies nennt man Interferenz. Wie bei Lichtwellen können sich Effekte dabei verstärken oder auslöschen.

im Spiel

Würfeln Sie 1 Mal um herauszufinden, welcher Effekt ausgelöst wird:

- 1 → Jordan Wigner
- 2 → Verschränkung
(bitte nochmals Würfeln, um die Art der Verschränkung zu bestimmen: Verschränkung ist bei 1-3 positiv, bei 4-6 negativ)
- 3 → Teilchenbeschleuniger
- 4 → Swap-Gate
- 5 → Absoluter Nullpunkt
- 6 → Superposition

Swap-Gate



Ein Swap-Gate ist eine Operation in Quantencomputern, das die Zustände von zwei Qubits vertauscht. Es ist oft Bestandteil von komplexeren Operationen in der Programmierung von Quantencomputern.

im Spiel

Wenn Sie auf einem Swap-Gate-Feld landen, schauen Sie nach, ob andere Personen auf weiteren Swap-Gate-Feldern stehen:

- niemand steht auf einem Swap-Gate-Feld: nichts passiert.
- eine Person steht auf einem Swap-Gate-Feld: sie tauschen die Plätze.
- mehrere Personen steht auf Swap-Gate-Feldern: sie dürfen sich aussuchen, mit wem Sie die Plätze tauschen.

Absoluter Nullpunkt



Der absolute Nullpunkt liegt bei $-273,15^{\circ}\text{C}$ und ist die tiefste mögliche Temperatur die es gibt. Alle Bewegung stoppt bei dieser Temperatur, nicht einmal Atome.

im Spiel

Nichts bewegt sich mehr!
Setzen Sie die nächste Runde aus.
Auch durch andere Effekte werden Sie nicht bewegt.
Nehmen Sie sich ein Nullpunkt-Plättchen als Erinnerung. Dies geben Sie in der nächsten Runde wieder ab.

Übersicht

Das Quantenleisterspiel ist ein Würfel-Laufspiel, bei dem 2 bis 8 SpielerInnen versuchen, als erste das Zielfeld zu erreichen. Die SpielerInnen ziehen ihre Figuren entsprechend der Würfelzahl vor. Spielerisch umgesetzte quantenphysikalische Phänomene ermöglichen weitere Versetzungen der Figuren auf dem Spielfeld.

Spielablauf

1. Alle SpielerInnen stellen ihre Spielfiguren auf dem Startfeld.
2. Wer beginnt, wird beliebig entschieden. Danach geht es reihum im Uhrzeigersinn.
3. Ein einzelner Würfel wird geworfen. Dessen Ergebnis gibt an, wie viele Felder die Spielfigur nach vorne bewegt wird.
4. Beim Landen auf einem Spielfeld löst man dessen Aktion aus. Jedes Feld hat eine eigene Aktion, diese sind in den Spielfeld-Regeln beschrieben
5. Falls man von einem Feldeffekt auf ein anderes Feld bewegt wird, wird dort kein zusätzlicher Effekt mehr ausgelöst
6. Das Spiel endet, wenn eine Spielfigur das Zielfeld erreicht oder überquert. Exaktes Würfeln ist nicht nötig (außer, ihr habt das vorher so vereinbart).

Physikalischer Hintergrund

Unsere Welt besteht aus Quanten. Diese elementaren Teilchen unterliegen eigenen physikalischen Gesetzen und Prinzipien, die unserem Alltagsverständnis zu widersprechen scheinen. Aber was sind Quanten?

Vereinfacht gesagt bezeichnet ein Quant die kleinste, unteilbare Einheit einer physikalischen Größe. Der Begriff kommt daher, dass viele Eigenschaften in der Natur nicht kontinuierlich, sondern nur in bestimmten 'Portionen' auftreten können.

Das bekannteste Beispiel ist das Lichtquant (Photon). Licht gibt es nur in Form solcher kleinsten Energiepakete. Auch andere Größen wie elektrische Ladung oder Drehimpuls treten nur in bestimmten Mindestportionen auf.

Jordan-Wigner



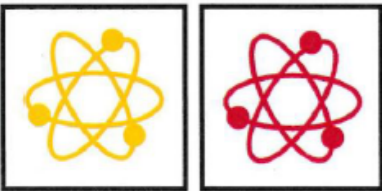
Die Jordan-Wigner Transformation ist eine Mathematik-Trick-Kiste, erfunden von den Physikern Pascual Jordan und Eugene Wigner im Jahr 1928. Mit ihr wird das Rechnen mit diesen kleinen Teilchen einfacher.

Fermionen sind Teilchen (z.B. Elektronen), die niemals am selben Ort sein dürfen und sich seltsam verhalten: wenn man sie tauscht oder bewegt, ändert sich das Vorzeichen der Rechnung. Das macht das Rechnen mit ihnen kompliziert. Die Jordan-Wigner-Transformation ersetzt die Teilchen durch einfache Ein-/Aus-Schalter - so, als würde man sie digital nachbilden

im Spiel

- Sie erhalten 1 Fermion-Plättchen (falls Sie noch keins haben)
 - Sie dürfen nur 1 Fermion gleichzeitig besitzen
 - Sie dürfen ihr Fermion einmalig während ihres Zugs einsetzen
- Durch Abgabe Ihres Fermions können Sie eine der folgenden Effekte durchführen:
- Wenn Sie auf ein Feld mit einer weiteren Figur kommen, wird diese rückwärts geschickt: die Person würfelt und geht die doppelte Augenzahl zurück
 - Aussetzen verhindern
 - Teleportation verhindern
 - negative Verschränkung verhindern

Teleportation



In der Quantenphysik bedeutet Teleportation nicht, dass ein Teilchen seinen Ort ändert - sondern, dass seine Information an ein anderes Teilchen an einem anderen Ort übergeben wird. Die Teilchen sind dafür miteinander verschränkt.

Es passiert blitzschnell - wie ein Zaubertrick mit Naturgesetzen. Selbst manche Physiker wollten diese Effekte nicht wahrhaben.

im Spiel

- Wenn Sie auf einem diesem Feld landen, beginnt eine Teleportationsphase mit bis zu 3 Würfeln (der erste Wurf ist Pflicht!). Bei einer Verbindung vom Spielfeld:
- Würfelergebnis 2, 3, 4, 5 folgen Sie dem Teleportationspfad
 - Würfelergebnis 1 oder 6 Sie bleiben stehen
- Bei zwei Verbindungen vom Spielfeld:
- Würfelergebnis 4 oder 5 gehen Sie nach „oben“
 - Würfelergebnis 2 oder 3 gehen Sie nach „unten“
 - Würfelergebnis 1 oder 6 Sie bleiben stehen
- Insgesamt gilt:
- Sie können max. einmal pro Runde nach „unten“ und max. zweimal pro Runde nach „oben“ gehen.
 - Sobald ein Wurf zu nichts führt, ist der Zug beendet!

Physikalischer Hintergrund

Bit-Flip



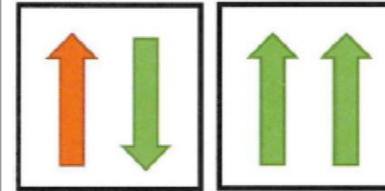
In der klassischen Informatik ist ein Bit entweder 0 oder 1. Ein Bit-Flip kehrt ein Bit von 0 zu 1 oder umgekehrt. In der Quantenphysik entspricht dies einem X-Gatter, das Zustände vertauscht. Das ist besonders spannend, da Quanteninformation sich anders verhält als normale Bits: Sie können überlagert sein.

Ein Bit-Flip verändert also die Basis - es „dreht“ den Zustand auf den Kopf.

im Spiel

- Sie gehen so viele Felder vorwärts, wie die Rückseite des Würfels zeigt.
- Beispiel:
- Sie haben eine 2 gewürfelt.
 - Die Rückseite zeigt also die 5.
 - Sie gehen 5 Felder weiter.

Verschränkung



Verschränkung ist ein besonderes Phänomen in der Quantenphysik, bei dem zwei Teilchen miteinander verbunden sind.

Bei einer Messung eines Teilchens wird sofort den Zustand des anderen Teilchens festgelegt, egal wie weit sie voneinander entfernt sind.

Bei einer ‚positiven‘ Verschränkung nimmt das zweite Teilchen den Zustand des gemessenen Teilchens an.

Bei einer ‚negativen‘ Verschränkung nimmt das zweite Teilchen den inversen Zustand des gemessenen Teilchens an.

im Spiel

- Wählen Sie einen Mitspieler aus!
- Bei dessen nächsten Wurf gehen Sie bei:
- rot-grün (negative Verschränkung) dieselbe Augenzahl nach hinten!
 - grün-grün (positive Verschränkung) dieselbe Augenzahl nach vorne!

Teilchenbeschleuniger



Ein Teilchenbeschleuniger bringt die winzigen Teilchen auf extrem hohe Geschwindigkeiten, um Experimente damit durchzuführen und Quanten besser zu erforschen.

Eines der berühmtesten Teilchenbeschleuniger der Welt ist das LHC (Large Hadron Collider) am CERN in der Schweiz.

im Spiel

- Würfeln Sie einmal mit dem 20-seitigen Würfel.
- Gehen Sie diese Augenzahl an Feldern sofort vor.