

Developing learning material for Feynman diagrams

Merten Dahlkemper^{1,2}, Pascal Klein², Andreas Müller³,
Sascha Schmeling¹, Jeff Wiener¹

1: CERN, Geneva; 2: University of Göttingen; 3: University of Geneva

The use of Feynman diagrams

Particle physics

Abbreviations for mathematical terms

Visualizations for back-of-the-envelope calculations

Educational tool?

Charge conservation

Interaction particles

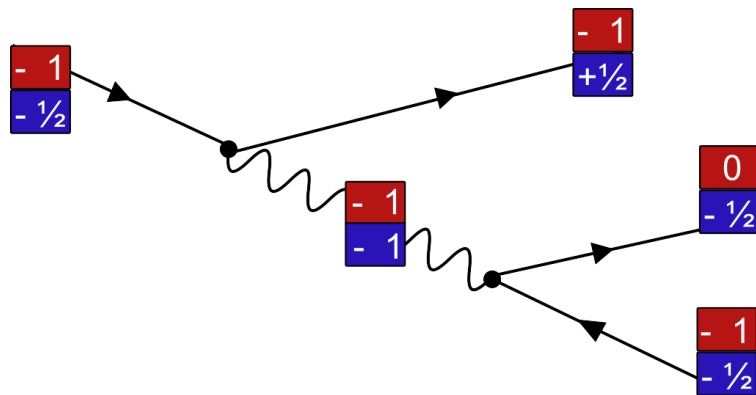


Learning materials

Popular science

Images of particle processes

“Stories” of what happens in a particle process



<https://view.genial.ly/643e682c10b529001846619c/earning-experience-didactic-unit-alpacarticle-physics>

Learning material

Text and graphics in the form of Feynman diagrams

Few illustrative pictures as guiding elements (“guiding alpaca”)

Comprehension questions

- Check diagrams for charge conservations
- Find mistakes
- Find a diagram to a process description

Fundamentale Regeln für Teilchenwechselwirkungen

Vielleicht hast du schon einmal davon gehört, dass alles um uns herum – und auch du selbst – aus Teilchen besteht. Diese Teilchen alleine sind nicht besonders spannend. Spannend wird es, wenn wir uns anschauen, wie sie miteinander wechselwirken.

Diese Teilchen-Wechselwirkungen werden beschrieben durch eine Theorie, die wir das Standardmodell der Elementarteilchenphysik nennen.

Diese Theorie ist sehr mathematisch, aber es gibt eine bestimmte Art von Bildern, die uns helfen können, diese Theorie zu verstehen. Diese Bilder nennen wir Feynman-Diagramme.

Die Diagramme sind eigentlich Abkürzungen für mathematische Ausdrücke.

Feynman-Diagramme sind eine Kombination von unterschiedlichen Linien und deren Kreuzungspunkten, den sogenannten Vertices. Ein Feynman-Diagramm ist immer eine Kombination aus zwei oder mehr von diesen Vertices, wie hier dargestellt:

Linker Vertex \swarrow \searrow Rechter Vertex

Feynman diagram

Es gibt aber ein paar Regeln für diese Vertices, damit sie gültig sind. Diese lernst du nun kennen.

Ladungserhaltung

Das waren jetzt einzelne Vertices. In einem Diagramm, das aus zwei oder mehr Vertices zusammengesetzt ist, muss die Ladungserhaltung an jedem Vertex erfüllt sein. Weiterhin steht die Zahl oben für die elektrische Ladung und die Zahl unten für die schwache Ladung.

Am linken Vertex sind beide Ladungen erhalten. Die elektrische Ladung beträgt -1 auf der linken Seite und -1 auf der rechten Seite. Die schwache Ladung beträgt $+\frac{1}{2}$ auf der linken Seite und $+\frac{1}{2}$ auf der rechten Seite.

Am rechten Vertex jedoch ist keine der beiden Ladungen erhalten. Die elektrische Ladung beträgt 0 auf der linken Seite und $+1$ auf der rechten Seite. Die schwache Ladung beträgt -1 auf der linken Seite und $+\frac{1}{2}$ auf der rechten Seite.

Damit ist das gesamte Diagramm nicht möglich.

Die elektromagnetische Wechselwirkung

Die elektromagnetische Wechselwirkung beschreibt alle Wechselwirkungen zwischen elektrisch geladenen Teilchen durch den Austausch von Photonen, dem Wechselwirkungsteilchen der elektromagnetischen Wechselwirkung.

Da alles um uns herum aus Atomen besteht, die über ihre Elektronen miteinander wechselwirken, ist die elektromagnetische Wechselwirkung zuständig für die meisten Alltagsphänomene.

Was wir als Berührung wahrnehmen – zum Beispiel ein Alpkafell, deine Computermaus oder den Stuhl, auf dem du sitzt – sind in Wahrheit unzählige Wechselwirkungen zwischen den Elektronen der Atome deiner Hand und denen des Alpkafells.

Hier siehst du je ein Elektron in deiner Hand und eines im Alpkafell. Klicke auf eines der Elektronen um zu sehen, wie sie miteinander wechselwirken.

Elektron e^- $-\frac{1}{2}$ $-\frac{1}{2}$ Photon γ 0 0 Elektron e^- $-\frac{1}{2}$ $-\frac{1}{2}$

Beispiele für Teilchen-Wechselwirkungen

Auf den folgenden Seiten lernst du verschiedene Beispiele kennen, bei denen Prozesse im Alltag durch Feynman-Diagramme beschrieben werden.

Klicke jeweils auf eines der Bilder um zu sehen, worum es geht. Mit einem Klick auf das Plus kommst du dann zu einer Erklärung des Prozesses, aufgrund der du entscheiden kannst, welches Feynman-Diagramm diesen Prozess beschreibt. Keine Sorge, du musst nicht alle Beispiele anschauen. Es reicht, wenn du ein Beispiel für jede Wechselwirkung gemacht hast. Welches Beispiel zu welcher Wechselwirkung gehört? Das musst du selber herausfinden.

Fluoreszenz

Auf der linken Seite findest du eine Beschreibung dessen, was hier passiert. Auf der rechten Seite sind einige Feynman-Diagramme, von denen eines den Prozess beschreibt, der links erklärt wird. Wähle das richtige Diagramm aus. Pauline kann dir helfen.

Fluoreszenz beschreibt das Phänomen, dass bestimmte Materialien sichtbares Licht ausstrahlen (also leuchten), wenn man sie z.B. mit UV-Licht bestrahlt. Fluoreszenz kommt an vielen Stellen in der Natur vor. So leuchten etwa bestimmte Pflanzen oder Gesteine und sogar einige Tiere, wie Schabkriecher oder Flughörnchen, unter UV-Licht. Aus dem Alltag kennst du das Phänomen vielleicht von Textmarkern oder unter "Schwarzlicht" fluoreszierender Kleidung bei einer Party.

Was bei diesem Phänomen passiert, ist folgendes: Ein Elektron (e^-) der äußeren Atomhülle des betreffenden Materials nimmt ein Photon (γ) des UV-Lichtes auf und strahlt daraufhin ein Photon (γ) niedrigerer Energie im Bereich des sichtbaren Lichtes ab.

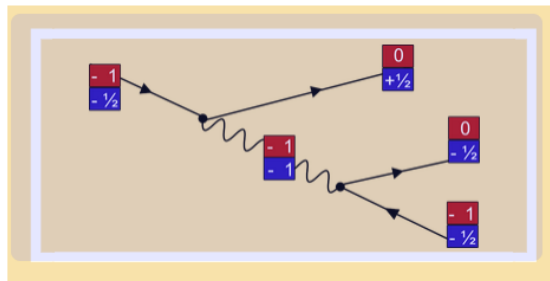
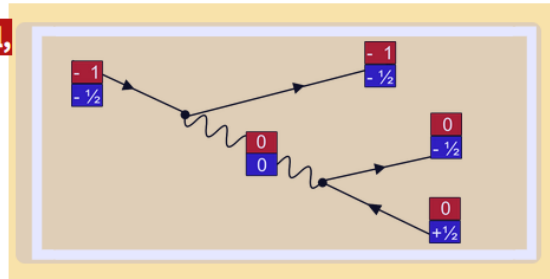
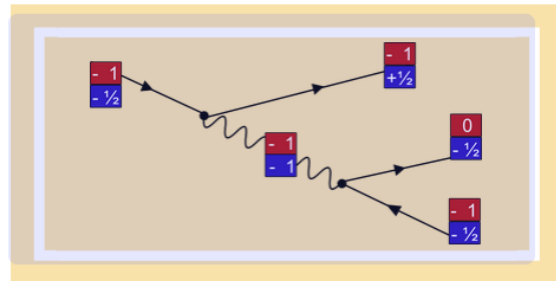
Unten siehst du ein unfertiges Diagramm. Die Zahl oben steht für die elektrische Ladung, die Zahl unten für die schwache Ladung. Der Vertex links ist unvollständig.

Welche der drei Linien auf der rechten Seite vervollständigen das Diagramm auf korrekte Weise an der Stelle des Fragezeichens?

Sneak Peek into eye tracking data

On this slide you see three diagrams
 The number on the top signifies the electrical,
 the number on the bottom the weak charge.

Which of the three diagrams is wrong?



Wrong Answers
 (N=14)

Correct Answers
 (N=18)

Auf dieser Seite siehst du drei Diagramme.
 Die Zahl oben steht für die elektrische,
 die Zahl unten für die schwache Ladung.

Welches dieser Diagramme ist falsch?

Auf dieser Seite siehst du drei Diagramme.
 Die Zahl oben steht für die elektrische,
 die Zahl unten für die schwache Ladung.

Welches dieser Diagramme ist falsch?

Even when students answered wrong, they spent most time on the correct answer option

➔ More in-depth analysis is needed about which gaze patterns hint toward (un)productive examination of diagrams

Discussion & Outlook

- **Next analysis steps**
 - Analyze students' free text answers to comprehension questions
→ Which conceptual difficulties do they exhibit?
 - Analyze eye tracking data
→ Which gaze patterns are (un)productive?
- **Current learning material**
 - Improve graphical explanations using cues
 - Improve explanations
 - Implementing third and fourth stage of learning goals
- **Discussion Questions**
 - Your thoughts about possible learning goals achievable with Feynman diagrams?
 - How would you explain interaction particles?

Learning Material



Questions, comments, remarks:

merten.dahlkemper@cern.ch