Teilchen finden wie am CERN

Unterrichtsidee für eine Doppelstunde (90 min) · Physik, Klasse 9–12 · Hinweise für Lehrkräfte

> Diese Unterrichtsidee ist noch nicht im Unterricht erprobt. Korrekturen und Erfahrungsberichte sind willkommen: info@idlecollider.com

WAS DIE SCHÜLERINNEN UND SCHÜLER MITNEHMEN SOLLEN

- Materie und Kräfte werden durch wenige Teilchen beschrieben (Standardmodell); ihre Massen unterscheiden sich enorm.
- Energie kann zu Masse werden ($E = mc^2$): Ein Teilchen entsteht erst, wenn die Kollisionsenergie hoch genug ist.
- Ein Detektor sieht Teilchen nicht direkt. Er zeichnet Spuren und Energieeinträge in Schichten auf, und das Muster verrät das Teilchen.
- Ein Spiel ist ein Modell: Die Lernenden benennen, was echt und was vereinfacht ist.

WAS SIE BRAUCHEN

- Je Zweier- oder Dreiergruppe ein iPhone mit „Idle Collider: Higgs Hunt“ (kostenlos; der erste Ring genügt, ein Kauf ist nicht nötig). Eine Android- oder Web-Version gibt es noch nicht.
- Vor der Stunde installieren. Der Vorspann (1 min) und die Einführung lassen sich überspringen; Ton und Haptik lassen sich in den Einstellungen (Zahnrad) abschalten.
- Das Spiel braucht kein Konto und keine Internetverbindung und erhebt keine Daten. Der eine optionale Kauf lässt sich auf Schulgeräten über „Bildschirmzeit“ sperren.
- Das Arbeitsblatt (Seite 2), eines je Gruppe.

ABLAUF

Zeit	Phase	Was geschieht
10 min	**Einstieg**	Ein Event-Display zeigen (aus dem Spiel oder ein öffentliches ATLAS/CMS-Bild; Bildlizenz prüfen). Frage: „Was seht ihr, und woran könnte man erkennen, welches Teilchen das war?“ Vermutungen sammeln.
35 min	**Sammeln**	Die Gruppen spielen Ring 1 und füllen Tabelle A aus. Tippen im Takt des Strahls bringt mehr Daten; Daten kaufen Strahlenergie, und mit der Energie erscheinen neue Teilchen. In dieser Zeit sind sechs bis neun Teilchen zu erwarten (siehe Seite 3).
15 min	**Genau hinsehen**	Aufgabe B: ein gefundenes Teilchen im Codex öffnen, das aufgezeichnete Ereignis ansehen, skizzieren und Spuren und Energieeinträge markieren. Antippen der Bildteile erklärt sie.
20 min	**Auswerten**	Aufgabe C im Plenum: Schwellen und $E = mc^2$, welche Schicht hält welches Teilchen auf, das unsichtbare Neutrino.
10 min	**Realitäts-Check**	Was ist echt, was vereinfacht (Tabelle auf Seite 3)? Freiwillige Hausaufgabe: Wer zeichnet bis nächste Woche ein W-, ein Z- oder ein Higgs-Boson auf? Der Beschleuniger läuft weiter, wenn die App geschlossen ist.

Arbeitsblatt: Teilchen finden wie am CERN

Namen: _____ Datum: _____

Ihr betreibt einen Teilchenbeschleuniger. Je mehr Energie euer Strahl hat, desto schwerere Teilchen können bei einer Kollision entstehen. Euer Detektor zeichnet auf, was herausfliegt.

A · SAMMELN (ETWA 35 MINUTEN)

Spielt und baut euren Beschleuniger aus. Für jedes neue Teilchen: Codex öffnen (Buch-Symbol), Teilchen antippen und eine Zeile ausfüllen.

Teilchen	Symbol	Masse	Entsteht ab (Strahlenergie)	Seltenheitsstufe

B · GENAU HINSEHEN

Öffnet eines eurer Teilchen im Codex und seht euch ein aufgezeichnetes Ereignis an (Antippen der Bildteile erklärt sie). Skizziert es hier. Markiert: (1) eine gekrümmte Spur, (2) einen Energieeintrag im Kalorimeter, (3) den Kollisionspunkt.

Unser Teilchen: _____

C · NACHDENKEN

1. Das Elektron hat eine Masse von 0,511 MeV, entsteht aber erst ab 1,022 MeV. Warum? Prüft eure Idee am Myon.

2. Ordnet eure Teilchen nach der Masse. Wie viele Elektronen wiegen so viel wie ein Proton?

3. Das Photon hinterlässt im inneren Detektor keine Spur, das Elektron schon. Worin unterscheiden sich die beiden?

4. Welche Teilchen kommen bis in die äußerste Schicht des Detektors? Was passiert mit den anderen?

5. Manchmal meldet die Anzeige „fehlende Energie“. Wohin könnte Energie verschwunden sein, die der Detektor nicht sieht?

Lösung und Hinweise

Teilchen finden wie am CERN

DIE 13 TEILCHEN VON RING 1

Teilchen	Symbol	Masse	Entsteht ab	Erster Fund nach etwa	Fakt im Spiel
Photon	γ	0	–	sofort	Masselos und immer mit Lichtgeschwindigkeit unterwegs. Trägt die elektromagnetische Kraft.
Elektron	e^-	511,0 keV	1,022 MeV	sofort	Entsteht paarweise mit seinem Antiteilchen, dem Positron. Dafür braucht es mindestens 1,022 MeV.
Pion	π	139,6 MeV	139,6 MeV	12 min	Das leichteste Hadron, ein Quark-Antiquark-Paar. Vermittelt die Kraft zwischen Protonen und Neutronen im Kern.
Myon	μ	105,7 MeV	211,3 MeV	15 min	Ein schweres Elektron, das paarweise mit dem Antimyon entsteht. Lebt nur 2,2 Mikrosekunden – und erreicht dank Zeitdilatation trotzdem den Erdboden.
Kaon	K	493,7 MeV	493,7 MeV	19 min	Enthält ein Strange-Quark. Kaonen zeigten 1964, dass Materie und Antimaterie nicht exakt spiegelbildlich sind.
Proton	p	938,3 MeV	938,3 MeV	21 min	Drei Quarks, gebunden durch Gluonen. Über 99 % seiner Masse ist Bindungsenergie, nicht Quarkmasse.
J/ψ-Meson	J/ψ	3,097 GeV	3,097 GeV	27 min	1974 gleichzeitig in zwei Laboren entdeckt – die „Novemberrevolution“, die das Charm-Quark bewies.
Tau	τ	1,777 GeV	3,554 GeV	29 min	Das schwerste Lepton, fast doppelt so schwer wie ein Proton, entsteht paarweise mit dem Antitau. Zerfällt nach etwa 0,3 Billionstel Sekunden.
B-Meson	B	5,279 GeV	5,279 GeV	31 min	Enthält ein Bottom-Quark. An ihm wird untersucht, warum das Universum mehr Materie als Antimaterie enthält.
W-Boson	W	80,36 GeV	80,36 GeV	73 min	Vermittelt die schwache Kraft und macht den radioaktiven Betazerfall möglich. 1983 am CERN entdeckt.
Z-Boson	Z	91,19 GeV	91,19 GeV	80 min	Das neutrale Geschwister des W. Aus seiner Zerfallsbreite folgt: Es gibt genau drei leichte Neutrino-Arten.
Higgs-Boson	H	125,1 GeV	125,1 GeV	2,5 h	Am echten LHC entsteht es etwa einmal pro Milliarde Kollisionen – hier deutlich öfter. Sein Feld gibt anderen Teilchen ihre Masse.
Top-Quark	t	172,6 GeV	172,6 GeV	2,3 h	Etwa so schwer wie ein Goldatom. Zerfällt, bevor es sich binden kann – das einzige „nackte“ Quark.

„Erster Fund“ ist der simulierte Median der aktiven Spielzeit für Gelegenheitsspieler (Tipp auf die Hälfte der Strahlkreuzungen); geübte Gruppen sind etwa doppelt so schnell. W, Z, Higgs und Top sind in einer Stunde nicht erreichbar.

ECHT, VEREINFACHT, ERFUNDEN

Echt	Namen, Symbole und Massen der 13 Teilchen in Ring 1 (Werte der Particle Data Group). Das Prinzip des Event-Displays: gekrümmte Spuren geladener Teilchen im Magnetfeld, Energieeinträge in Kalorimetern, Myonen in den äußeren Kammern, fehlende Energie durch Neutrinos. Die Paarerzeugungs-Schwellen von Elektron, Myon und Tau.
Vereinfacht	Wie oft Teilchen entstehen: Am echten LHC entsteht ein Higgs-Boson etwa einmal pro Milliarde Kollisionen, im Spiel viel öfter. Der LHC lässt Protonen bei fester Energie von mehreren TeV kollidieren; das Spiel lässt die Energie von unter 1 MeV an wachsen, damit Schwellen sichtbar werden. Das Tippen „im Takt“ steht für den Trigger, der in Wirklichkeit automatisch entscheidet.
Erfunden	Die Ringe 3 bis 7 (um einen Kontinent, die Erde, die Mondbahn, die Sonne, die Heliosphäre) sind Fiktion; Ring 2, der FCC, ist ein realer Plan. Die 13 Teilchen ab Ring 2 sind hypothetisch und im Spiel so gekennzeichnet. Beides wird für diese Stunde nicht gebraucht.

Lösungen zum Arbeitsblatt

Teilchen finden wie am CERN

C · NACHDENKEN

1. Elektronen entstehen paarweise mit ihrem Antiteilchen, dem Positron. Die Energie muss für zwei Massen reichen: 2 × 0,511 MeV = 1,022 MeV ($E = mc^2$). Myon: 2 × 105,7 MeV = 211,3 MeV. Für das Tau gilt dasselbe (2 × 1,777 GeV = 3,554 GeV).
2. 938,27 MeV ÷ 0,511 MeV ≈ 1836 Elektronen. Zum Vergleich: Ein Higgs-Boson (125,1 GeV) wiegt so viel wie etwa 133 Protonen.
3. In der Ladung. Der Spurdetektor sieht nur geladene Teilchen, die sein Material ionisieren; ihre Spuren krümmen sich im Magnetfeld. Das neutrale Photon zeigt sich erst, wenn es seine Energie im elektromagnetischen Kalorimeter abgibt.
4. Myonen. Elektronen und Photonen bleiben im elektromagnetischen Kalorimeter stecken, Hadronen wie Pionen, Kaonen und Protonen im hadronischen Kalorimeter. Myonen durchqueren beide und werden außen in den Myonkammern noch einmal gemessen.
5. Neutrinos, zum Beispiel aus dem Zerfall eines W-Bosons, verlassen den Detektor ohne Spur. Man bemerkt sie daran, dass sich die Impulse der sichtbaren Teilchen quer zur Strahlrichtung nicht zu null addieren.

MÖGLICHE VERTIEFUNGEN

- Resonanz: J/ψ und Z lassen sich „eintunen“, indem man die Strahlenergie auf ihre Masse senkt. Warum entsteht ein Teilchen bei genau dieser Energie häufiger?
- Statistik: Jedes aufgezeichnete Ereignis hat eine Signifikanz in σ. Was bedeutet „5 σ“ für eine Entdeckung?
- Maßstab: Der LHC-Ring ist 26,7 km lang. Wie lange braucht ein Proton mit fast Lichtgeschwindigkeit für eine Runde, und wie viele Runden sind das pro Sekunde? (etwa 89 µs, etwa 11.000 Runden)