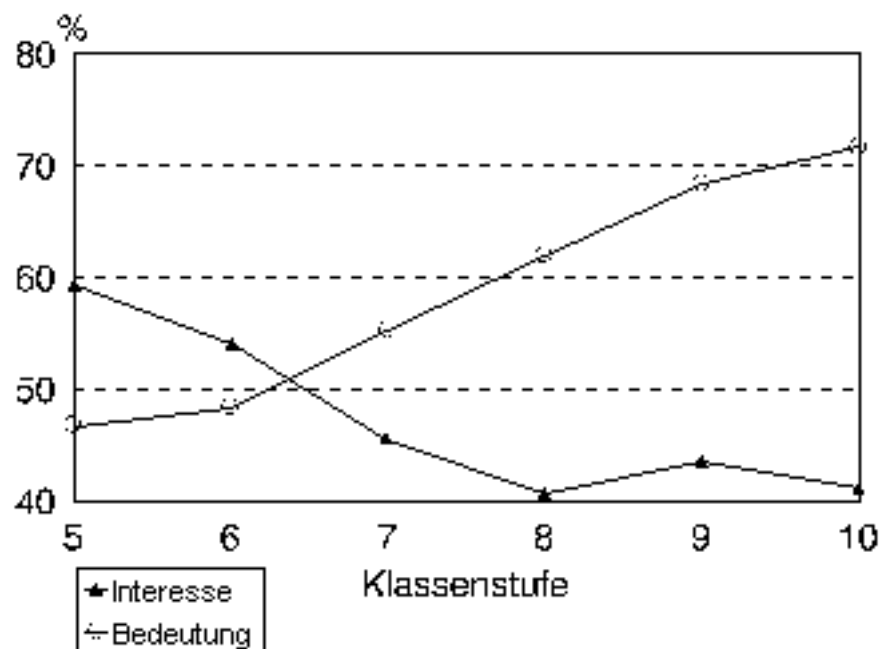


TEILCHENPHYSIK IM UNTERRICHT

Geht das?

Entwicklung von Interesse und Relevanzzuschreibung im Fach Physik

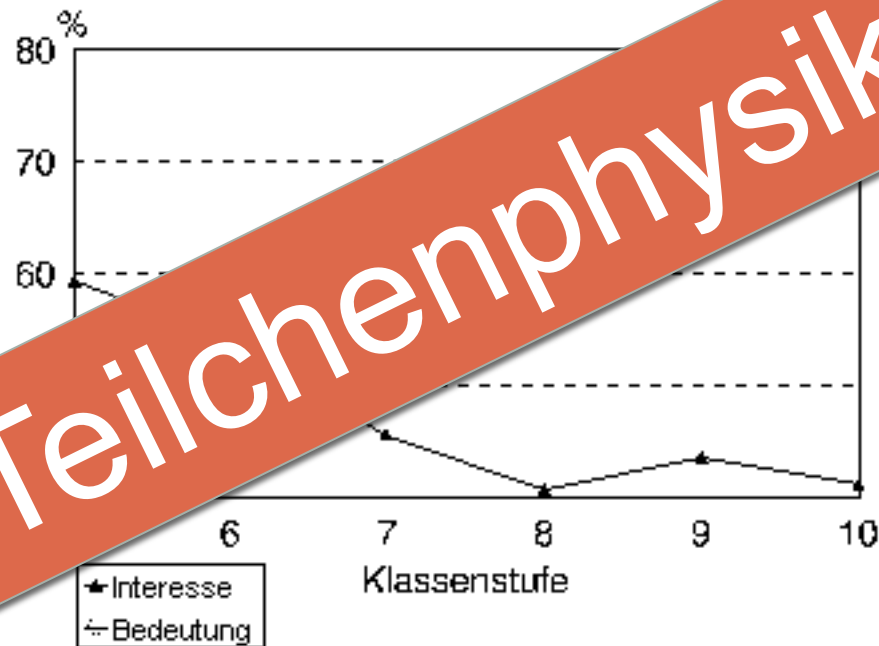
Berechnung aus den Daten der IPN-Interessenstudie



N = 4034; Datenbasis Hoffmann/Lehrke 1985, S. 34/38
(eigene Berechnung)

Entwicklung von Interesse und Relevanzzuschreibung im Fach Physik

Berechnung aus den Daten der IPN-Interessenstudie



N = 4034; Datenbasis Hoffmann/Lehrke 1985, S. 34/38
(eigene Berechnung)

Warum Teilchenphysik?

Warum kommt Teilchenphysik in der Schule kaum vor?

1. Teilchenphysik als relativ junger Teilbereich der Physik.
2. Es gibt relativ wenige Experimente, die in der Schule durchgeführt werden können.
3. Teilchenphysik gilt als „sehr schwer“, weil umfangreiche Kenntnisse aus der Physik und Mathematik vorhanden sein müssen.

Warum Teilchenphysik?

Warum kommt Teilchenphysik in der Schule kaum vor?

1. Teilchenphysik als relativ junger Teilbereich der Physik.
2. Es gibt relativ wenige Experimente, die in der Schule durchgeführt werden können.
3. Teilchenphysik gilt als „sehr schwer“, weil umfangreiche Kenntnisse aus der Physik und Mathematik vorhanden sein müssen.



Es wird bei Kicher et. al. (2009) allerdings auch direkt bemerkt:
Es gibt „Möglichkeiten Inhalte schülergemäß zu elementarisieren.“

Warum Teilchenphysik

Teilchenphysik als „junger Teilbereich“ der Physik?

- Geschichte der Untersuchung der Struktur der Materie ist fast 2500 Jahre alt: Demokrit.
- Entwicklung von Detektoren und Beschleunigern trieb experimentelle Untersuchung erst Mitte des letzten Jahrhunderts richtig voran.
- Teilchenphysik wurde erst in den letzten Jahren zunehmend von der breiten Öffentlichkeit wahrgenommen.

Warum Teilchenphysik?

Auszug aus Liste der Nobelpreise in Physik

- 1927 Wilson (Nebelkammer)
- 1936 Hess/Anderson (kosmische Strahlung/Positron)
- 1939 Lawrence (Zyklotron)
- 1948 Blacket (Nebelkammer)
- 1949 Yukawa (Mesonen)
- 1950 Powell (Kernemulsion)
- 1954 Bothe (Koinzidenzmethode)
- 1955 Kusch (magn. Moment d. Elektrons)
- 1957 Yang/Lee (Parität)
- 1958 Tscherenkow/Frank/Tamm (Tscherenkow-Effekt)
- 1959 Segè/Chamberlain (Antiproton)
- 1960 Glaser (Blasenkammer)
- 1961 Hofstadter (Struktur Nukleonen)
- 1963 Wigner (Elementarteilchen/Symmetrie)
- 1965 Feynman (Quantenelektrodynamik)
- 1968 Alvarez (Resonanzzustände)
- 1969 Gell-Mann (Quarks)
- (1972 Bardeen/Cooper/Schrieffer (Supraleitung))
- 1976 Richter/Ting (J/ψ)
- 1979 Glashow/Salam/Weinberg (Elektroschwache Wechselwirkung)
- 1980 Cronin/Fitch (Symmetriebrechung bei K-Mesonen)
- 1984 Rubbia/van der Meer (W-/Z-Bosonen)
- 1988 Ledermann/Schwartz/Steinberger (Dublettstruktur, Myonenneutrino)
- 1990 Friedmann/Kendall/Taylor (Beitrag zum Quarkmodell)
- 1992 Charpak (Vieldraht-Proportionalenkammer)
- 1995 Perl/Reines (τ -Lepton/Nachweis Neutrinos)
- (1996 Lee/Osheroff/Richardson (Suprafluidität Helium-3))
- 1999 't Hooft/Veltman (elektroschwache Wechselwirkung)
- 2002 Davis junior/Koshiba (Nachweis Neutrinos)
- (2003 Abrikossow/Ginsburg/Leggett (Supraleiter))
- 2004 Gross/Politzer/Wilczek (Starke Wechselwirkung)
- 2008 Nambu/Kobayashi/Masukawa (spontane Symmetriebrechung)
- 2013 Englert/Higgs (Higgs-Teilchen)

Warum Teilchenphysik?

Auszug aus Liste der Nobelpreise in Physik



- 1927 Wilson (Nebelkammer)
- 1936 Hess/Anderson (kosmische Strahlung/Positron)
- 1939 Lawrence (Zyklotron)
- 1948 Blacket (Nebelkammer)
- 1949 Yukawa (Mesonen)
- 1950 Powell (Kernemulsion)
- 1954 Bothe (Koinzidenzmethode)
- 1955 Kusch (magn. Moment d. Elektrons)
- 1957 Yang/Lee (Parität)
- 1958 Tscherenkow/Frank/Tamm (Tscherenkow-Effekt)
- 1959 Segè/Chamberlain (Antiproton)
- 1960 Glaser (Blasenkammer)
- 1961 Hofstadter (Struktur Nukleonen)
- 1963 Wigner (Elementarteilchen/Symmetrie)
- 1965 Feynman (Quantenelektrodynamik)
- 1968 Alvarez (Resonanzzustände)
- 1969 Gell-Mann (Quarks)
- (1972 Bardeen/Cooper/Schrieffer (Supraleitung))
- 1976 Richter/Ting (J/ψ)
- 1979 Glashow/Salam/Weinberg (Elektroschwache Wechselwirkung)
- 1980 Cronin/Fitch (Symmetriebrechung bei K-Mesonen)
- 1984 Rubbia/van der Meer (W-/Z-Bosonen)
- 1988 Ledermann/Schwartz/Steinberger (Dublettstruktur, Myoneneutrino)
- 1990 Friedmann/Kendall/Taylor (Beitrag zum Quarkmodell)
- 1992 Charpak (Vieldraht-Proportionalalkammer)
- 1995 Perl/Reines (τ -Lepton/Nachweis Neutrinos)
- (1996 Lee/Osheroff/Richardson (Suprafluidität Helium-3))
- 1999 't Hooft/Veltman (elektroschwache Wechselwirkung)
- 2002 Davis junior/Koshiba (Nachweis Neutrinos)
- (2003 Abrikossow/Ginsburg/Leggett (Supraleiter))
- 2004 Gross/Politzer/Wilczek (Starke Wechselwirkung)
- 2008 Nambu/Kobayashi/Masukawa (spontane Symmetriebrechung)
- 2013 Englert/Higgs (Higgs-Teilchen)

Warum Teilchenphysik?

Auszug aus Liste der Nobelpreise in Physik

- | | |
|---|--|
| 1927 Wilson: Nebelkammer | 1979 Glashow/Salam/Weinberg: Elektroschwache WW. |
| 1936 Hess/Anderson: kosm. Str. / Positron | 1980 Cronin/Fitch: Symmetriebrechung bei K-Mesonen |
| 1939 Lawrence: Zyklotron | 1984 Rubbia/van der Meer: W-/Z-Bosonen |
| 1948 Blacket: Nebelkammer | 1988 Ledermann/Schwartz/Steinberger: Dublettstruktur, Myonneutrino |
| 1949 Yukawa: Mesonen | 1990 Friedmann/Kendall/Taylor: Quarks |
| 1950 Powell: Kernemulsion | 1992 Charpak: Vieldraht-Proportionalk. |
| 1954 Bothe: Koinzidenzmethode | 1995 Perl/Reines: τ / Nachweis Neutrinos |
| 1955 Kusch: magn. Moment d. Elektrons | 1996 Lee/Osheroff/Richardson: Suprafluidität Helium-3 |
| 1957 Yang/Lee: Parität | 1999 't Hooft/Veltman: elektroschw. WW. |
| 1958 Tscherenkow/Frank/Tamm: Tscherenkow-Effekt | 2002 Davis junior/Koshiba: Nachweis Neutrinos |
| 1959 Segè/Chamberlain: Antiproton | 2003 Abrikossow/Ginsburg/Leggett: Supraleiter |
| 1960 Glaser: Blaskammer | 2004 Gross/Politzer/Wilczek: Starke WW. |
| 1961 Hofstadter: Struktur Nukleonen | 2008 Nambu/Kobayashi/Masukawa: spontane Symmetriebrechung |
| 1963 Wigner: Elementarteil./Symmetrie | 2013 Englert/Higgs: Higgs-Teilchen |
| 1965 Feynman: Quantenelektrodynamik | |
| 1968 Alvarez: Resonanzzustände | |
| 1969 Gell-Mann: Quarks | |
| 1972 Bardeen/Cooper/Schrieffer: Supral. | |
| 1976 Richter/Ting: J/ψ | |

Warum Teilchenphysik?

Auszug aus Liste der Nobelpreise in Physik

1927 Wilson: Nebelkammer

1936 Hess/Anderson: kosm. Str. / Positron

1939 Lawrence: Zyklotron

1948 Blacket: Nebelkammer

1949 Yukawa: Mesonen

1950 Powell: Kernemulsion

1954 Bothe: Koinzidenzmethode

1955 Kusch: magn. Moment d. Elektrons

1957 Yang/Lee: Parität

1958 Tscherenkow/Frank/Tamm:
Tscherenkow-Effekt

1959 Segè/Chamberlain: Antiproton

1960 Glaser: Blaskammer

1961 Hofstadter: Struktur Nukleonen

1963 Wigner: Elementarteil./Symmetrie

1965 Feynman: Quantenelektrodynamik

1968 Alvarez: Resonanzzustände

1969 Gell-Mann: Quarks

1972 Bardeen/Cooper/Schrieffer: Supral.

1976 Richter/Ting: J/ψ

1979 Glashow/Salam/Weinberg:
Elektroschwache WW.

1980 Cronin/Fitch: Symmetriebrechung bei
K-Mesonen

1984 Rubbia/van der Meer: W-/Z-Bosonen

1988 Ledermann/Schwartz/Steinberger:
Dublettstruktur, Myonenneutrino

1990 Friedmann/Kendall/Taylor: Quarks

1992 Charpak: Vieldraht-Proportionalk.

1995 Perl/Reines: τ / Nachweis Neutrinos

1996 Lee/Osheroff/Richardson:
Suprafluidität Helium-3

1999 't Hooft/Veltman: elektroschw. WW.

2002 Davis junior/Koshiba:
Nachweis Neutrinos

2003 Abrikossow/Ginsburg/Leggett:
Supraleiter

2004 Gross/Politzer/Wilczek: Starke WW.

2008 Nambu/Kobayashi/Masukawa:
spontane Symmetriebrechung

2013 Englert/Higgs: Higgs-Teilchen

Ein kleiner Blick in die Lehrpläne...

- Ist Teilchenphysik in den Lehrplänen der Sek II vorhanden?
- Gibt es eine Struktur?
- Was muss man laut Lehrplan zur Teilchenphysik wissen?
- Wie viel Zeit wird für die Teilchenphysik eingeräumt?
- Vorarbeit von Konrad Jende und Thomas Unkelbach
- Lehrpläne im Internet:
<http://www.kmk.org/dokumentation/lehrplaene/uebersicht-lehrplaene.html>

Ein kleiner Blick in die Lehrpläne...

TP im Pflichtbereich	TP im Wahlbereich	Keine TP
Baden-Württemberg	Berlin	Niedersachsen
Bayern	Brandenburg	Sachsen
Bremen	Hessen	Thüringen
Hamburg	Rheinland-Pfalz	
MV	Saarland	
NRW	Sachsen-Anhalt	
	Schleswig-Holstein	

Ein kleiner Blick in die Lehrpläne...

- Unterschiedliche Formulierungen
- Teilweise unterschiedliche Themen/Schwerpunkte
- Stark unterschiedliche Stundenzahl von keiner Angabe über 2 Stunden bis 43 Stunden.

Ein kleiner Blick in die Lehrpläne...

- Unterschiedliche Formulierungen
- Teilweise unterschiedliche Themen/Schwerpunkte
- Stark unterschiedliche Stundenzahl von keiner Angabe über 2 Stunden bis 43 Stunden.

Ein kleiner Blick in die Lehrpläne...

Länder	Schwerpunkte	Zeitskala
Baden-Württemberg	1, 2, 3	2 – 4 Std.
Bayern	1, 2, 3, 4, 5, 9	6 Std.
Hessen	Anknüpfen an vorherige Themen	(24 – 43 Std.)
Rheinland-Pfalz	1, 3, 4, 6, 8	10 Std.
Sachsen-Anhalt	1, 4, 7, 8, 9, 10	4 Std.
Schleswig-Holstein	1, 3, 4, 10	8 Std.

1: Überblick Elementarteilchen
 2: Untersuchungsmethoden
 3: Struktur der Materie
 4: Wechselwirkungen
 5: Dunkle Materie/Energie

6: Feynman Diagramme
 7: Grundlegende Fragestellungen
 8: Aktuelle Entwicklungen
 9: Teilchen und Antiteilchen
 10: Beschleuniger

Ein kleiner Blick in die Lehrpläne...

Länder	Schwerpunkte	Zeitskala
Baden-Württemberg	1, 2, 3	2 – 4 Std.
Bayern	1, 2, 3, 4, 5, 9	6 Std.
Hessen	Anknüpfen an vorherige Themen	(24 – 43 Std.)
Rheinland-Pfalz	1, 3, 4, 6, 8	10 Std.
Sachsen-Anhalt	1, 4, 7, 8, 9, 10	4 Std.
Schleswig-Holstein	1, 3, 4, 10	8 Std.

1: **Überblick Elementarteilchen**
 2: **Untersuchungsmethoden**
 3: **Struktur der Materie**
 4: **Wechselwirkungen**
 5: Dunkle Materie/Energie

6: Feynman Diagramme
 7: Grundlegende Fragestellungen
 8: Aktuelle Entwicklungen
 9: Teilchen und Antiteilchen
 10: Beschleuniger

Ein kleiner Blick in die Lehrpläne...

Länder	Schwerpunkte	Zeitskala
Baden-Württemberg	1, 2, 3	2 – 4 Std.
Bayern	1, 2, 3, 4, 5, 9	6 Std.
Hessen	Anknüpfen an vorherige Themen	(24 – 43 Std.)
Rheinland-Pfalz	1, 3, 4, 6, 8	10 Std.
Sachsen-Anhalt	1, 4, 7, 8, 9, 10	4 Std.
Schleswig-Holstein	1, 3, 4, 10	8 Std.

1: **Überblick Elementarteilchen**
 2: **Untersuchungsmethoden**
 3: **Struktur der Materie**
 4: **Wechselwirkungen**
 5: **Dunkle Materie/Energie**

6: **Feynman Diagramme**
 7: **Grundlegende Fragestellungen**
 8: **Aktuelle Entwicklungen**
 9: **Teilchen und Antiteilchen**
 10: **Beschleuniger**

Ein kleiner Blick in die Lehrpläne...

Probleme:

- Solange Teilchenphysik ein Wahlthema bleibt, wird es kaum unterrichtet.
- Fehlende Relevanz für das Abitur.

Ein kleiner Blick in die Lehrpläne...

Probleme:

- Solange Teilchenphysik ein Wahlthema bleibt, wird es kaum unterrichtet.
- Fehlende Relevanz für das Abitur.

Lösung:

- Ministerien dazu bewegen, großzügigen Platz für Teilchenphysik im Lehrplan zu schaffen.

Ein kleiner Blick in die Lehrpläne...

Probleme:

- Solange Teilchenphysik ein Wahlthema bleibt, wird es kaum unterrichtet.
- Fehlende Relevanz für das Abitur.

Lösung:

- ~~Ministerien dazu bewegen, großzügigen Platz für Teilchenphysik im Lehrplan zu schaffen.~~
- *Anknüpfungspunkte* im Lehrplan identifizieren!

Anknüpfungspunkte

Warum die „Lehrplan“-Physik mit Beispielen aus der modernen Forschung (Teilchenphysik) bereichern?

- Größe und Einzigartigkeit der Teilchenphysik-Projekte als Beispiel, was Menschen erreichen können, wenn sie ihre Köpfe über Ländergrenzen hinweg zusammenstecken!
- Am CERN werden ständig Rekorde gebrochen.
- Der LHC mit seinen Experimenten ist das teuerste Experiment, das jemals gebaut wurde. Deshalb *sollte* jeder darüber Bescheid wissen.
- Anhand von „CERN Physik“ kann man Konzepte gut vermitteln und mit „einfachen“ Rechnungen auch die Schulphysik gut einüben. Man verliert nichts und erzeugt gleichzeitig Neugier für aktuelle Forschung.

Anknüpfungspunkte

Mögliche Anknüpfungspunkte

Sek I	Sek II
Erhaltungssätze	Mechanik • Erhaltungssätze • Gravitation
Lorentz-Kraft	Elektromagnetismus • Teilchen in Feldern
Radioaktiver Zerfall	Quantenmechanik
Atomaufbau	Spez. Relativitätstheorie
⋮	⋮

Anknüpfungspunkte

Beispiel Gase/Druck¹

- Vorkenntnisse:
 - Druck
 - Gasgleichung
- Lernmöglichkeiten
 - Funktionsprinzipien Beschleuniger (z. B. Vakuumsystem, Protonenquelle, Strahlrohr)
 - Wichtige Spezialbegriffe (z. B. Luminosität)
 - Vertiefung der Vorkenntnisse
- Rechnungen:
 - Frage I: Wie hoch ist der Protonenverschleiß am LHC?
 - Frage II: Wie viele Gasmoleküle befinden sich im Kollisionspunkt?

¹Siehe auch: Cid-Vidal und Cid (2011a).

Anknüpfungspunkte

Beispiel Gase/Druck¹

Frage I.1: Wie viele Protonen sind im LHC?

Anzahl der Teilchenpakete: 2808

Anzahl der Teilchen pro Paket: $1.15 \cdot 10^{11}$

Anzahl der Protonen pro Strahl: $N = 2808 \cdot 1.15 \cdot 10^{11} = 3 \cdot 10^{14}$

Anzahl der Protonen insgesamt: $N_{ges} = 2 \cdot N = 6 \cdot 10^{14}$

¹Siehe auch: Cid-Vidal und Cid (2011a).

Anknüpfungspunkte

Beispiel Gase/Druck¹

Frage I.2: Wie viele Protonen (Wasserstoffatome) befinden sich in 1 Kubikzentimeter Wasserstoffgas?

$$P = 10^5 \text{ Pa}, \quad V = 10^{-6} \text{ m}^3, \quad T = 293 \text{ K}$$

Rechnung: $P \cdot V = n \cdot R \cdot T \Leftrightarrow$

$$n = \frac{P \cdot V}{R \cdot T}$$

$$n = 4 \cdot 10^{-5} \text{ mol}$$

$$N_{\text{Moleküle}} = n \cdot N_A = 2.4 \cdot 10^{19}$$

$$N_{\text{Protonen}} = 2 \cdot N_{\text{Moleküle}} = 5 \cdot 10^{19}$$

Füllungen für den LHC:

$$\frac{5 \cdot 10^{19}}{6 \cdot 10^{14}} \approx 100000$$

¹Siehe auch: Cid-Vidal und Cid (2011a).

Anknüpfungspunkte

Beispiel Gase/Druck¹

Frage I.3: Wie viele Wasserstoffatome befinden sich in einer Wasserstoffgasflasche, welche 5kg fasst?

Stoffmenge n:
$$n = \frac{\text{Masse Gas}}{\text{Molare Masse}} \approx \frac{5000\text{g}}{2} = 2500 \text{ mol}$$

$$\Rightarrow N_{\text{Moleküle}} = n \cdot N_A = 2500 \text{ mol} \cdot 6 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} = 1.5 \cdot 10^{27}$$

$$\Rightarrow N_{\text{Atome}} = 2 \cdot N_{\text{Moleküle}} = 3 \cdot 10^{27}$$

¹Siehe auch: Cid-Vidal und Cid (2011a).

Anknüpfungspunkte

Beispiel Gase/Druck¹

Frage I: Wie hoch ist der Protonenverschleiß?

Die Protonenquelle hat eine Effizienz von ca. 70%.

$$N_{\text{Protonen}} = 0.7 \cdot N_{\text{Atome}} = 2.1 \cdot 10^{27}$$

Füllungen für den LHC: $\frac{2.1 \cdot 10^{27}}{6 \cdot 10^{14}} \approx 3.5 \cdot 10^{12}$

Wenn alle 10h neu befüllt wird reicht das Gas für

$$10 \text{ h} \cdot 3.5 \cdot 10^{12} = 3.5 \cdot 10^{13} \text{ h} \approx 4 \cdot 10^9 \text{ Jahre.}$$

¹Siehe auch: Cid-Vidal und Cid (2011a).

Anknüpfungspunkte

Beispiel Gase/Druck¹

Frage II: Wie viele Gasmoleküle befinden sich im Kollisionspunkt?

$$P = 10^{-7} \text{ Pa}, \quad V = 1 \text{ m}^3, \quad T = 5 \text{ K}, \quad R = 8.31 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

Stoffmenge n pro m^3 :
$$n = \frac{P \cdot V}{R \cdot T} = 2.4 \cdot 10^{-9} \text{ mol}$$

Gasdichte (Anzahl der Moleküle pro m^3):

$$\rho_m = n \cdot N_A \text{ m}^{-3} \approx 2.4 \cdot 10^{11} \text{ Moleküle m}^{-3}$$

¹Siehe auch: Cid-Vidal und Cid (2011a).

Anknüpfungspunkte

Beispiel Gase/Druck¹

Frage II: Wie viele Gasmoleküle befinden sich im Kollisionspunkt?

Volumen der Protonenpakete im Kollisionspunkt:

$$V_p = 7.5 \text{ cm} \cdot 16 \mu\text{m} \cdot 16 \mu\text{m} \approx 2 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3$$

Anzahl der Gasmoleküle im Kollisionspunkt:

$$N_{\text{Moleküle}} = 2.4 \cdot 10^{11} \text{ Moleküle m}^{-3} \cdot 2 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \approx 5 \text{ Moleküle}$$

Im Vergleich zur Anzahl der Protonen ist dies vernachlässigbar!

¹Siehe auch: Cid-Vidal und Cid (2011a).

Anknüpfungspunkte

Beispiel Gase/Druck¹

Weitere Fragestellung:

- Die Anzahl der Proton-Gas Kollisionen im Strahlrohr lässt sich berechnen.
- Daraus kann die „beam lifetime“ (oder auch die Halbwertszeit des Strahls) berechnet werden.

→ Anknüpfungspunkte zum radioaktiven Zerfall!

¹Siehe auch: Cid-Vidal und Cid (2011a).

Anknüpfungspunkte

Beispiel Energie²

- Vorkenntnisse:
 - Kinetische Energie
 - Magnetfelder, magn. Fluss, etc.
- Was kann gelernt werden?
 - Energie im Protonenstrahl
 - Energie in den Magneten der Detektoren
 - Energie in LHC Magneten
 - Energie der Beschleunigungsstrecken
 - Freigesetzte Energie im „beam dump“
 - Alles, was bei Vorkenntnissen steht
- Rechnungen:
 - Frage I: Wie viel Energie ist im Protonenstrahl gespeichert?
 - Frage II: Wie viel Energie ist in den LHC-Dipolmagneten gespeichert?
 - Frage III: Wie viel Energie ist im CMS oder ATLAS Magneten gespeichert?

²Siehe auch: Cid-Vidal und Cid (2009).

Anknüpfungspunkte

Beispiel Energie²

Frage I: Wie viel Energie ist im Protonenstrahl gespeichert?

Energie pro Proton: $7 \text{ TeV} = 1.12 \cdot 10^{-6} \text{ J}$

²Siehe auch: Cid-Vidal und Cid (2009).

Anknüpfungspunkte

Beispiel Energie²

Frage I: Wie viel Energie ist im Protonenstrahl gespeichert?

Energie pro Proton: $7 \text{ TeV} = 1.12 \cdot 10^{-6} \text{ J}$



²Siehe auch: Cid-Vidal und Cid (2009).

Anknüpfungspunkte



Beispiel Energie²

Frage I: Wie viel Energie ist im Protonenstrahl gespeichert?

Energie pro Proton: $7 \text{ TeV} = 1.12 \cdot 10^{-6} \text{ J}$

Energie einer Fliege (60mg) bei normaler Reisegeschwindigkeit:

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot 6 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot \left(0.2 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 = 1.2 \cdot 10^{-6} \text{ J} \approx 7 \text{ TeV}$$



$\cong 36\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000$ Nukleonen

²Siehe auch: Cid-Vidal und Cid (2009).

Anknüpfungspunkte

Beispiel Energie²

Frage I: Wie viel Energie ist im Protonenstrahl gespeichert?

Energie pro Paket: $7 \text{ TeV} \cdot 1.15 \cdot 10^{11} = 1.29 \cdot 10^5 \text{ J}$



²Siehe auch: Cid-Vidal und Cid (2009).

Anknüpfungspunkte

Beispiel Energie²

Frage I: Wie viel Energie ist im Protonenstrahl gespeichert?

Energie pro Paket: $7 \text{ TeV} \cdot 1.15 \cdot 10^{11} = 1.29 \cdot 10^5 \text{ J}$

Energie eines Motorrads (150kg) bei erhöhter Reisegeschwindigkeit:

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot 150 \text{ kg} \cdot \left(41.7 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 \approx 1.29 \cdot 10^5 \text{ J}$$



²Siehe auch: Cid-Vidal und Cid (2009).

Anknüpfungspunkte



Gesamtzahl der LHC-Pakete: $N=2808$

Anknüpfungspunkte

Beispiel Energie²

Frage I: Wie viel Energie ist im Protonenstrahl gespeichert?

Energie pro Paket: $7 \text{ TeV} \cdot 1.15 \cdot 10^{11} = 1.29 \cdot 10^5 \text{ J}$

Energie eines Motorrads (150kg) bei erhöhter Reisegeschwindigkeit:

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot 150 \text{ kg} \cdot \left(41.7 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 \approx 1.29 \cdot 10^5 \text{ J}$$



Gesamtenergie eines LHC-Protonenstrahls:

$$1.29 \cdot 10^5 \text{ J} \cdot 2808 \approx 360 \text{ MJ}$$

²Siehe auch: Cid-Vidal und Cid (2009).

Anknüpfungspunkte

Frage 1

Energie

Energie



wert?

indigkeit:



Gesamtenergie eines LHC-Protonenstrahls reicht aus, um 1808 kg Gold zu schmelzen!

²Siehe auch: Cid-Vidal und Cid (2009).

Anknüpfungspunkte

Beispiel Energie²

Frage II: Wie viel Energie ist in den LHC-Dipolmagneten gespeichert?

Die LHC-Dipolmagnete können als zylindrische Spule (14.3 m lang, 9 cm breit) mit 80 Windungen und einem Magnetfeld von 8.33 T angesehen werden. Dazu wird eine Stromstärke von 11800 A benötigt.

Magnetischer Fluss:

$$\begin{aligned}\varphi &= N \cdot B \cdot A \\ &= 80 \cdot 8.33 \text{ T} \cdot (14.3 \text{ m} \cdot 0.09 \text{ m}) \\ &\approx 1000 \text{ Wb}\end{aligned}$$

Induktivität:

$$\begin{aligned}\varphi &= L \cdot I \Leftrightarrow L = \frac{\varphi}{I} \\ L &= \frac{1000 \text{ Wb}}{11800 \text{ A}} \approx 0.1 \text{ H}\end{aligned}$$

²Siehe auch: Cid-Vidal und Cid (2009).

Anknüpfungspunkte

Beispiel Energie²

Frage II: Wie viel Energie ist in den LHC-Dipolmagneten gespeichert?

Energie in einem Dipol: $E_d = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2 = \frac{1}{2} \cdot 0.1 \text{ H} \cdot (11800 \text{ A})^2 \approx 7 \text{ MJ}$

Gesamte Energie aller Dipolmagnete:

$$E_{\text{ges}} = 1232 \cdot E_d \approx 9 \text{ GJ}$$

²Siehe auch: Cid-Vidal und Cid (2009).

Anknüpfungspunkte

Beispiel Energie²

Frage II: Wie viel Energie ist in den LHC-Dipolmagneten gespeichert?

Energie in einem Dipol: $E_d = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2 = \frac{1}{2} \cdot 0.1 \text{ H} \cdot (11800 \text{ A})^2 \approx 7 \text{ MJ}$

Gesamte Energie aller Dipolmagnete:

$$E_{\text{ges}} = 1232 \cdot E_d \approx 9 \text{ GJ}$$

Vergleich mit Startenergie eines Airbus A380:

$$E_{\text{A380}} = \frac{1}{2} \cdot 560000 \text{ kg} \cdot \left(83 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 \approx 1.9 \text{ GJ}$$

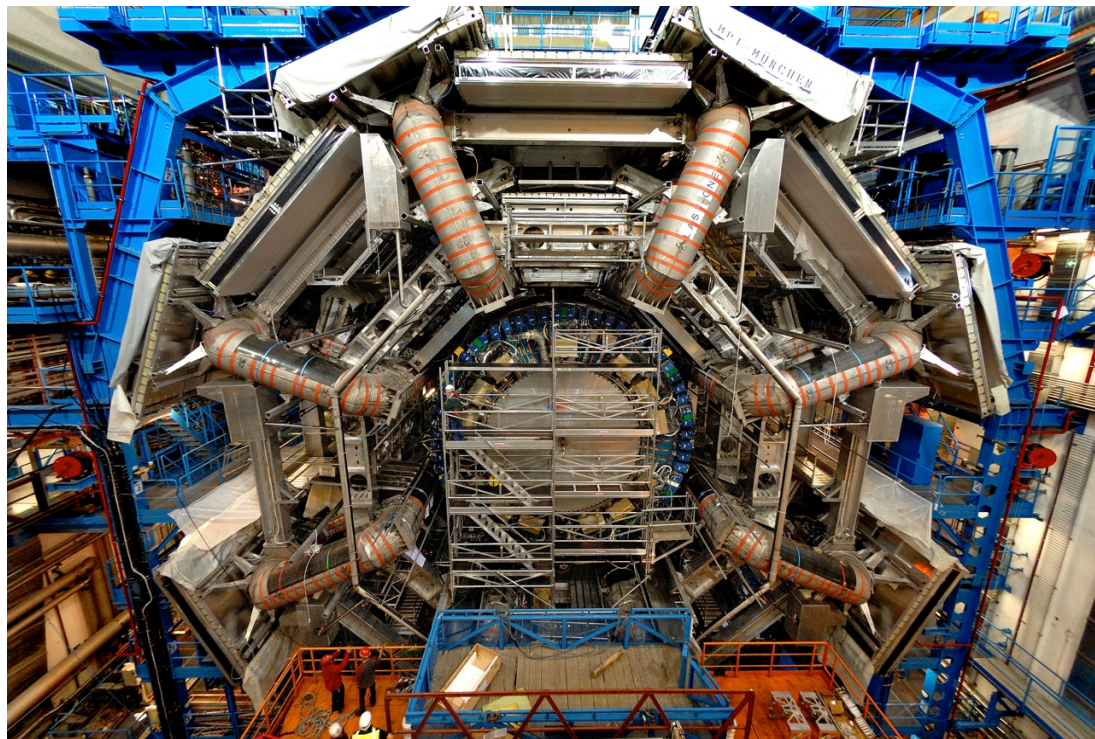
²Siehe auch: Cid-Vidal und Cid (2009).



Anknüpfungspunkte

Beispiel Energie²

Frage III: Wie viel Energie ist in dem ATLAS-Toroidmagnet gespeichert?

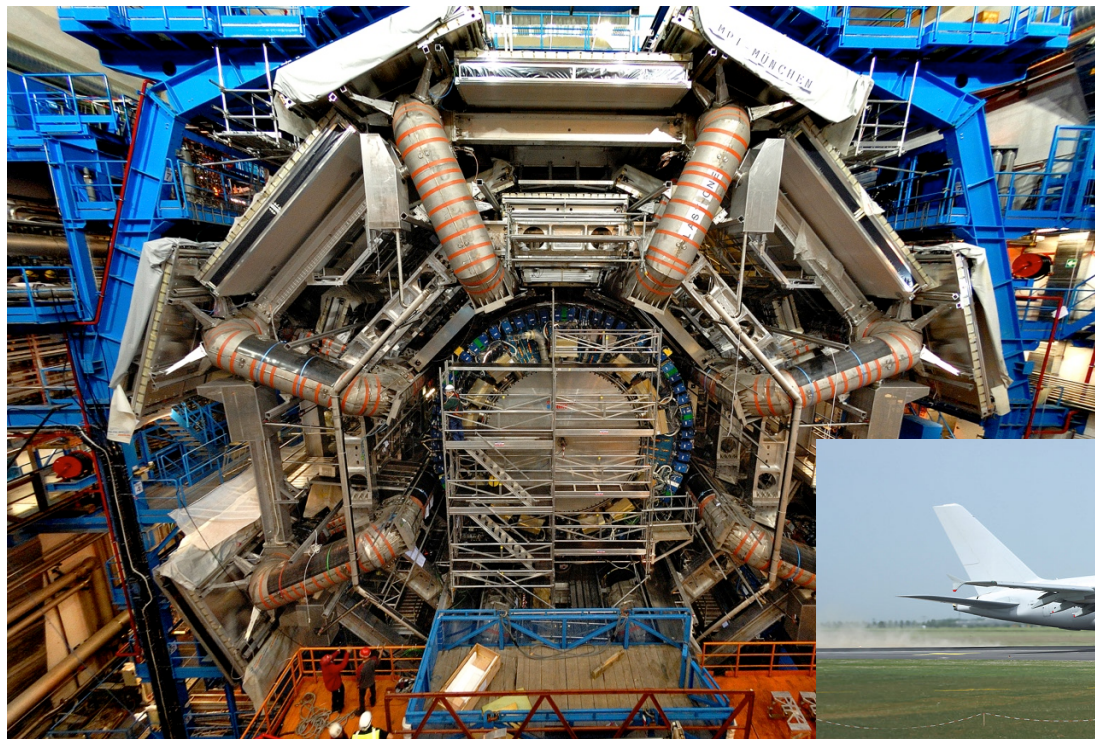


²Siehe auch: Cid-Vidal und Cid (2009).

Anknüpfungspunkte

Beispiel Energie²

Frage III: Wie viel Energie ist in dem ATLAS-Toroidmagnet gespeichert?



²Siehe auch: Cid-Vidal und Cid (2009).

Anknüpfungspunkte

Lesenswert

Cid, R. (2005): Contextualized magnetism in secondary school: learning from the LHC (CERN). *Physics Education, IOP Publishing, 40, 332-338*

Cid-Vidal, X. & Cid, R. (2009). Taking energy to the physics classroom from the Large Hadron Collider at CERN. *Physics Education, IOP Publishing, 44, 78-83*

Cid-Vidal, X. & Cid, R. (2010). The Higgs particle: a useful analogy for Physics classrooms. *Physics Education, IOP Publishing, 45, 73-75*

Cid-Vidal, X. & Cid, R. (2011a). LHC: the emptiest space in the solar system. *Physics Education, IOP Publishing, 46, 45-49*

Cid-Vidal, X. & Cid, R. (2011). How to count 300 trillion protons travelling at the speed of light . *Physics Education, IOP Publishing, 46, 309-311*

<http://www.lhc-closer.es>

Was ist außerschulisch möglich?

- Schülerlabore zur Messung von kosmischen Teilchen
 - Hamburg: <http://physik-begreifen.desy.de>
 - Würzburg: http://www.mind.uni-wuerzburg.de/lehr_lern_labor/
 - Göttingen: <http://www.xlab-goettingen.de> (?)

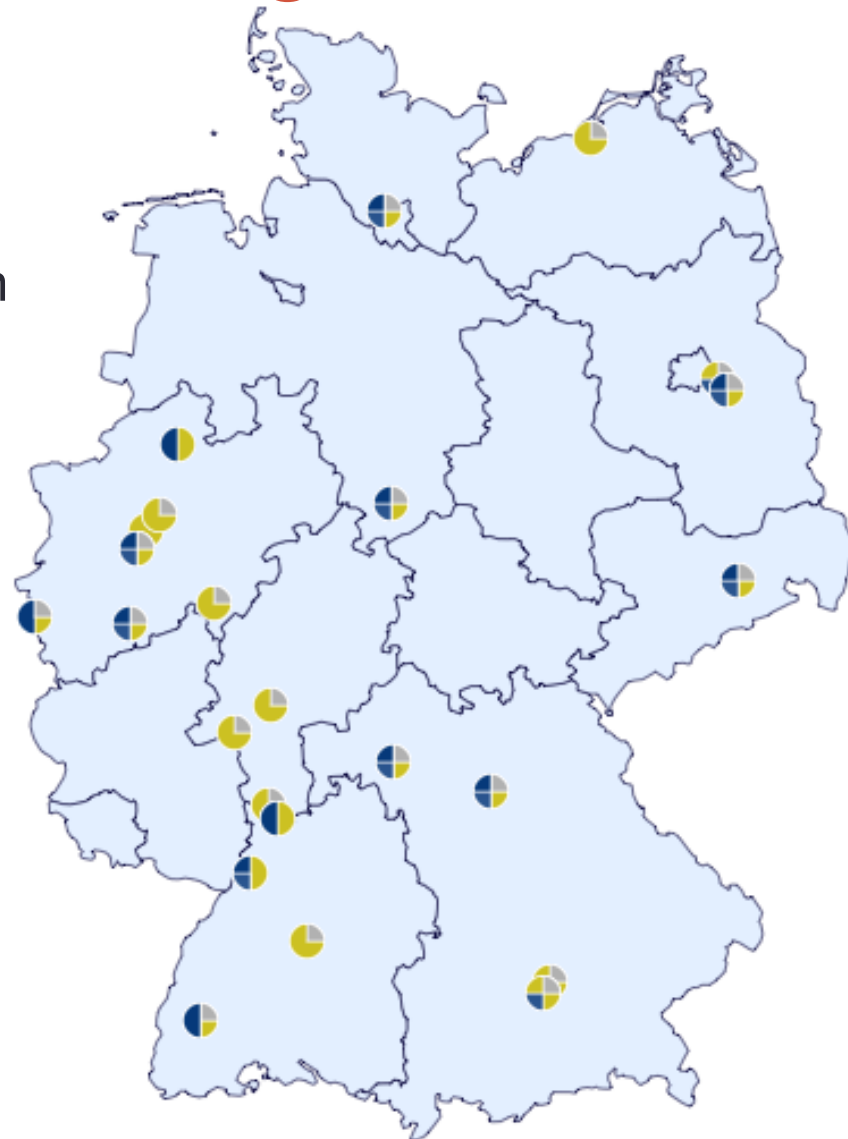
Für einzelne interessierte Schüler

- Erlangen: <http://www.esfz.nat.uni-erlangen.de>
- Zeuthen: <http://physik-begreifen.desy.de>
- Netzwerk Teilchenwelt: www.teilchenwelt.de

Was ist außerschulisch möglich?

Netzwerk Teilchenwelt

- Zusammenschluss von 24 deutschen Instituten + CERN (Schweiz)
- Kontakt zu Teilchen- und Astroteilchenphysikern
- Angebote für Jugendliche und Lehrkräfte
- Verschiedene Stufen der Mitarbeit: Erleben, Vermitteln, Erforschen



Was ist außerschulisch möglich?

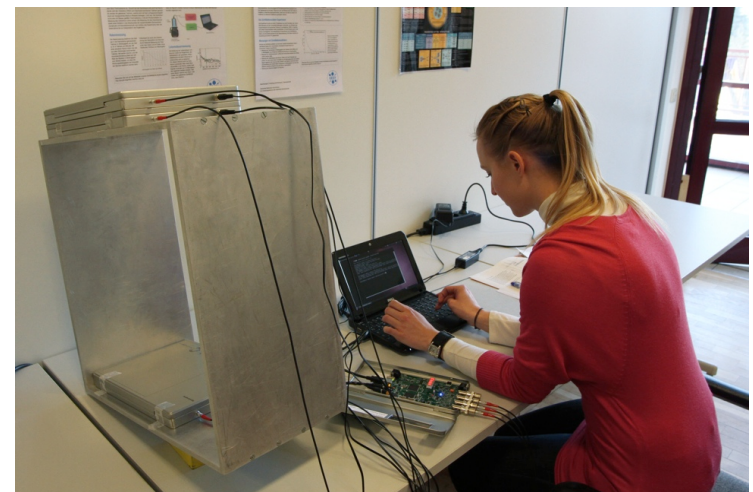
Teilchenphysik Masterclasses

- Analyse realer Daten der LHC-Experimente.
- Eintägige Veranstaltungen an Schulen oder außerschulischen Lernorten

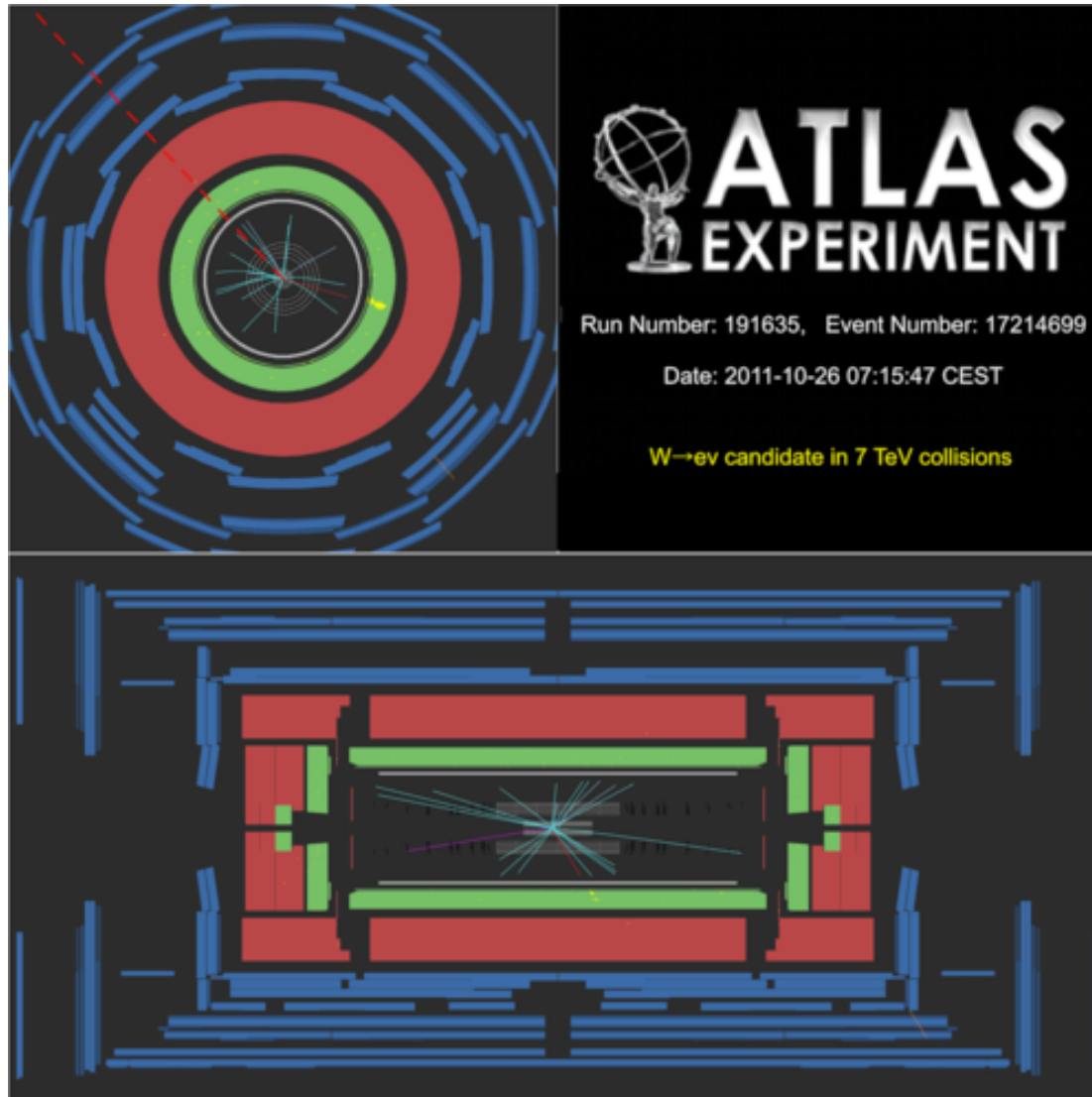


„Cosmic“-Experimente

- Entdecken des Phänomens der kosmischen Strahlung.
- Angebot reicht von eintägigen über mehrtägige Veranstaltungen bis hin zu längeren Projekten.



Was ist außerschulisch möglich?



NETZWERK
TEILCHENWELT

Was ist außerschulisch möglich?



NETZWERK
TEILCHENWELT

Was ist außerschulisch möglich?

- Netzwerk Teilchenwelt Materialien
 - Teilchenphysik – Forschung und Anwendungen (Informationen und Anregungen)
 - Das Standardmodell der Teilchenphysik (Hintergrundinformationen)
 - Die vier Wechselwirkungen (Arbeitsblatt)
 - Der ATLAS-Detektor (Arbeitsblätter, Filmsequenzen)
 - Selbstbau einer Nebelkammer (Experimentieranleitung)
 - Teilchen-Steckbriefe (Karten, Hinweise für Lehrkräfte)

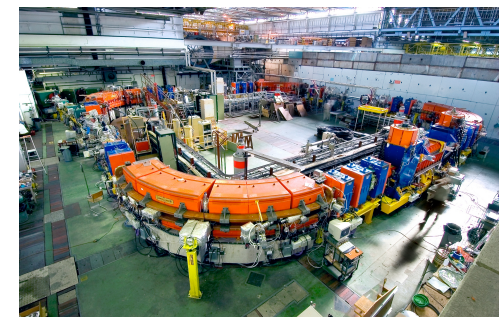
Weiterentwicklung und Erweiterung des Materials ist geplant!

Was ist außerschulisch möglich?

Schülerbesuche am CERN

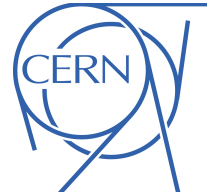


- Halbtägige Besuchsprogramme organisiert durch den CERN visits service (kostenfrei)
- Typisches Programm:
 - Einführungsvortrag
 - 2 Besuchspunkte
 - Nachmittags Besuch von Ausstellungen möglich
 - Geplant:
 - ab Sommer 2014 Schülerlabor am CERN (weiterer halber Tag)



Was ist außerschulisch möglich?

Schülerbesuche am CERN



- Abgerundet werden kann eine Exkursion durch
 - Besuch internationaler Organisationen in Genf, Besuch des „physiscope“ in Genf, Stopp im Einstein Museum in Bern, Stopp im Technorama in Winterthur...

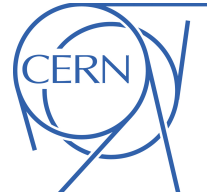
- Anmeldung: Je früher desto besser!



<http://outreach.web.cern.ch/outreach/visites/groupes.html>

Was ist außerschulisch möglich?

Lehrerfortbildungen am CERN



- High School Teacher Programme (3 Wochen)
<http://education.web.cern.ch/education/>
- German Teachers Programme (Sonntag-Freitag)
 - Ca. 4 pro Jahr
 - Programm ist kostenfrei, nur Anreise sowie Verpflegungs- und Übernachtungskosten müssen selbst getragen werden.
 - Möglichkeit der Finanzierung über Netzwerk Teilchenwelt
www.teilchenwelt.de
 - Termine und Anmeldungen:
http://education.web.cern.ch/education/Chapter1/Page3_DE.html
 - Typisches Programm:
<https://indico.cern.ch/conferenceOtherViews.py?view=standard&confId=195342>

Literatur und Links

Unterrichtsreihen und Material

- www.teilchenphysik.de
 - Komplette Unterrichtsreihen
- www.teilchenphysik.ch
 - Unterrichtsreihe mit Posterserie
- www.teilchenwelt.de
 - Materialien und Informationen zum Netzwerk Teilchenwelt
- www.cern.ch
 - Informationen rund um CERN

Literatur und Links

Cid, R. (2005): Contextualized magnetism in secondary school: learning from the LHC (CERN). *Physics Education, IOP Publishing, 40*, 332-338

Cid-Vidal, X. & Cid, R. (2009). Taking energy to the physics classroom from the Large Hadron Collider at CERN. *Physics Education, IOP Publishing, 44*, 78-83

Cid-Vidal, X. & Cid, R. (2010). The Higgs particle: a useful analogy for Physics classrooms. *Physics Education, IOP Publishing, 45*, 73-75

Cid-Vidal, X. & Cid, R. (2011a). LHC: the emptiest space in the solar system. *Physics Education, IOP Publishing, 46*, 45-49

Cid-Vidal, X. & Cid, R. (2011). How to count 300 trillion protons travelling at the speed of light . *Physics Education, IOP Publishing, 46*, 309-311

Kircher, E.; Girwidz, R. & Häußler, P. (2009). Physikdidaktik: Theorie und Praxis. *Springer, 2009*

Vielen Dank!

martin.hawner@cern.ch

Anhang