

CALCULAR LA MASA Z

NOTAS DEL PROFESOR

DESCRIPCIÓN

En 1983, los físicos del CERN estaban emocionados cuando descubrieron una nueva partícula, llamada bosón Z. Hoy en día, estas partículas son importantes para los físicos, ya que calibran los detectores en el Gran Colisionador de Hadrones (LHC) del CERN. A pesar del uso de detectores gigantescos que utilizan tecnología innovadora, el análisis de datos involucra conceptos que forman parte del plan de estudios estándar para la física de la escuela secundaria.

Esta actividad ayuda a los estudiantes a aprender cómo los físicos determinan que su detector está calibrado y si han descubierto algo nuevo. Los estudiantes usan la conservación del momento, la conservación de energía y la suma de vectores bidimensionales para calcular la masa del bosón Z. Los datos provienen de pantallas de eventos ATLAS y CMS de decaimientos Z candidatos del Gran Colisionador de Hadrones (LHC) del CERN. Elegimos ocho eventos de 2010 cuidadosamente; los momentos de los muones de la desintegración Z fueron relativamente pequeños en la dirección a lo largo de la línea del haz. Por lo tanto, estos eventos fueron casi bidimensionales en el plano transversal a la línea del haz. Estos eventos se analizan utilizando análisis bidimensional para determinar la masa del bosón Z.

NORMAS

Estándares científicos de próxima generación

Prácticas científicas

1. Hacer preguntas
2. Desarrollo y uso de modelos
4. Análisis e interpretación de datos
5. Uso de las matemáticas y el pensamiento computacional
6. Construir explicaciones
7. Participar en el argumento a partir de la evidencia
8. Obtención, evaluación y comunicación de información

Ideas básicas disciplinarias – Ciencias Físicas

PS1. A: Estructura y propiedades de la materia

PS2. B: Tipos de interacciones

PS3. B: Conservación de la energía y transferencia de energía

Conceptos transversales

1. Patrones.
3. Escala, proporción y cantidad.
4. Sistemas y modelos de sistemas.

Normas básicas comunes de alfabetización

Lectura

9-12.4 Determinar el significado de símbolos, términos clave. . .

9-12.7 Traducir información cuantitativa o técnica . . .

Estándares básicos comunes de matemáticas

MP2. Razonar abstracta y cuantitativamente

MP6. Atender a la precisión.

IB Física Tema 1: Medición e incertidumbre

- 1.2.6 Describir y dar ejemplos de errores aleatorios y sistemáticos.
- 1.2.8 Explique cómo pueden reducirse los efectos de los errores aleatorios.
- 1.2.11 Determinar las incertidumbres en los resultados.
- 1.2.12 Identificar incertidumbres como barras de error en gráficos.
- 1.2.13 Indique la incertidumbre aleatoria como un rango de incertidumbre (\pm) y represente gráficamente como una "barra de error".
- 1.3.1 Distinguir entre cantidades vectoriales y escalares.
- 1.3.2 Combinar y resolver vectores.

Física del IB Tema 2: Mecánica

- 2.3.6 Utilizar el principio de conservación de la energía para comparar un estado inicial con un estado final.
- 2.4.3 Utilizar la conservación del momento lineal para comparar un estado inicial con un estado final.

IB Física Tema 7: La estructura de la materia

Objetivo 4: la física de partículas implica el análisis y la evaluación de grandes cantidades de datos

Estándar 7.3.4: Aplicar la relación de equivalencia masa-energía de Einstein

Opción adicional de nivel superior de física del IB Tema A.4: Mecánica relativista

A.4.6 Utilizar $\text{MeV } c^{-2}$ o como $\text{GeV } c^{-2}$ la unidad de masa y $\text{MeV } c^{-1}$ o $\text{GeV } c^{-1}$ como unidad de momento.

A.4.7 Describir las leyes de conservación del momento y conservación de la energía dentro de la relatividad especial

A.4.10 Resolver problemas relacionados con la energía relativista y la conservación del momento en colisiones y desintegraciones de partículas

ENTENDIMIENTOS DURADEROS

- La medición de los productos de descomposición y el uso de leyes de conservación pueden determinar las propiedades de las partículas indirectamente.
- Las masas de partículas bien entendidas proporcionan datos para calibrar detectores.

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Los estudiantes serán capaces de:

- Aplicar la conservación del impulso a situaciones de la vida real.
- Calcular la masa invariante de una partícula de desintegración.
- Utilizar la conservación de energía para determinar la masa de un objeto en descomposición.

CONOCIMIENTOS PREVIOS

Los estudiantes deben ser capaces de:

- Trazar un histograma
- Diferenciar masa, unidades de energía y momento utilizadas por los físicos de partículas (Energía-eV, Momento-eV/c, masa-eV/c²)

MATERIAL DE REFERENCIA

Estas visualizaciones de eventos son datos auténticos. Sin embargo, la mayoría de los estudiantes de

secundaria piensan en los datos como números, tal vez columnas de números. Utilice las pantallas de eventos para provocar una discusión de los formularios de datos y el hecho de que pueden usar estos datos auténticos para calcular la masa Z . Los estudiantes son equipos que realizan un análisis "doble ciego" de los datos del evento para candidatos a Z . Son miembros de una colaboración tratando de ver si los candidatos seleccionados tienen la misma masa. Si lo hacen, entonces el detector está correctamente calibrado, y los físicos pueden usarlo para buscar más eventos Z .

RECURSOS/MATERIALES

Los enlaces a continuación proporcionan material de referencia útil.

Detectores en el LHC:

- <http://aliceinfo.cern.ch/Public/Welcome.html>
- <https://atlas.cern/>
- <https://cms.cern/>
- <http://lhcb-public.web.cern.ch/lhcb-public/>

Histogramas, unidades útiles:

- <http://quarknet.fnal.gov/toolkits/new/histograms.html>
- <http://quarknet.fnal.gov/toolkits/ati/whatgevs.html>
- http://en.wikipedia.org/wiki/Full_width_at_half_maximum

IMPLEMENTACIÓN

Los estudiantes usan imágenes impresas del evento, regla y transportador para analizar los datos. Esta actividad requiere promediar muchos cálculos independientes de la masa invariante determinada a partir de los ocho eventos. Los estudiantes analizan los eventos ATLAS y CMS elegidos porque los productos de desintegración tenían poco impulso en la dirección del haz. Esto hace que la resolución de componentes vectoriales sea mucho más simple. Los estudiantes usarán un transportador para medir la dirección del momento, resolver los componentes del momento y agregarlos para determinar la masa de la Z .

Cada uno de estos eventos muestra la descomposición de un "candidato Z " en dos muones. El detector sólo puede "ver" los muones. Estos se muestran en estos eventos como pistas. Cada muón se lleva energía de la región de descomposición. Resolver esta energía nos dirá si los muones pueden haber sido producidos en una descomposición. Los pares de muones con energías combinadas en el rango de la masa invariante de Z pueden provenir de una desintegración Z . Debe ayudar a los estudiantes a identificar qué información necesitan de los diagramas de eventos para resolver la masa invariante.

Puedes usar esta actividad para reforzar la adición de vectores o para explorar la conservación del momento y la energía. Los estudiantes pueden tener dificultades en dos áreas diferentes: resolver y agregar vectores y determinar la masa a partir de la suma vectorial. Es importante destacar que se trata de acontecimientos auténticos y que la "respuesta" es el resultado de su análisis. La naturaleza no proporciona una respuesta clave. Los estudiantes pueden compartir sus resultados públicamente ingresando su valor para la masa Z en una tabla en la pizarra.

También puede utilizar esta actividad para introducir la calibración. En las primeras ejecuciones, CMS utilizó la determinación de la masa Z como una confirmación de que el detector se estaba comportando como se esperaba. Si los valores de los nuevos datos diferían de los primeros

resultados, su detector tenía problemas.

"Calcular la masa del quark top" tiene instrucciones paso a paso para hacer los cálculos necesarios para esta actividad.

Los eventos están disponibles en <https://quarknet.org/page/z-mass-calculation-event-images>.

EVALUACIÓN

- Calidad de las parcelas
Compruebe lo siguiente: etiquetar correcto los ejes; identificar el nivel de fondo; Selección adecuada del tamaño del contenedor.
- Interpretación
Compruebe lo siguiente: identificación correcta del pico y la masa de partícula; Indicación de que el ancho del pico representa la incertidumbre en el valor de la masa.
¿El análisis indicó que el detector está bien calibrado? Es decir, ¿el gráfico de masa arrojó un resultado de acuerdo con los valores aceptados para la masa Z? ($91\text{ GeV}/c^2$)
- Discusión
Divida el class en grupos. Cada grupo presenta sus hallazgos a la clase con una discusión abierta de las afirmaciones, evidencia y razonamiento proporcionados por cada grupo. Las preguntas abordadas durante la discusión incluyen:
 - ¿Cuál es la masa más probable del bosón Z?
 - ¿Cuál es el rango de masas de bosones Z muestreadas en sus datos?
- Informe escrito
Un informe escrito debe enfatizar *las afirmaciones, la evidencia y el razonamiento*:
¿Qué afirmaciones pueden hacer los científicos basándose en el gráfico Z?
 - *Ejemplos: masa, descubrimiento, incertidumbre.*¿Cuál es la evidencia a favor y en contra de la validez de las afirmaciones?
 - *Ejemplos: señal a fondo, ancho.*Explique el razonamiento que vincula la evidencia con la validez de la afirmación.
 - *Ejemplo: la señal Z es grande en comparación con el fondo, con un ancho estrecho en comparación con la altura del pico.*Proporcione la evidencia de estas afirmaciones y el razonamiento detrás de ellas al gerente de turno en su "Informe de turno". El enlace al "Informe de turnos" se encuentra en la página principal de la actividad.

EXTENSIÓN

Esta actividad es muy adecuada para un análisis más detallado del error, utilizando herramientas fácilmente disponibles en una hoja de cálculo o calculadora gráfica. A continuación, se muestra una selección de indicadores de los estándares del IB, con una descripción de cómo se pueden cumplir estos indicadores utilizando esta actividad.

ENTENDIMIENTOS

Errores aleatorios y sistemáticos

En un histograma con una distribución "en forma de campana", el error aleatorio se puede cuantificar determinando el "ancho" de la distribución, y el error sistemático puede relacionarse con la media de la distribución. Ejemplos en el caso de una distribución gaussiana serían calculando el FWHM (ancho completo medio máximo) o la desviación estándar. En cualquier caso, un pico estrecho (como la distribución de masa estrecha del bosón Z en eventos de producción de muones en CMS) puede identificarse como uno con un pequeño error aleatorio, mientras que un pico amplio (candidatos de bosón Z de la producción de positrones electrónicos, por ejemplo) representaría un error aleatorio grande.

- *Ejemplos: señal a fondo, ancho.* Explique el razonamiento que vincula la evidencia con la validez de la afirmación.
 - *Ejemplo: la señal del bosón Z es grande en comparación con el fondo, con un ancho estrecho en comparación con la altura del pico.*
- ¿Son algunas afirmaciones más válidas que otras? ¿Por qué?
- *Ejemplo: una relación señal-fondo más pequeña proporciona evidencia más débil de descubrimiento.*