

# ¿Cómo funciona un detector?

## 1. Principios físicos

### 1.1 Fuerza de Lorentz

Las cargas eléctricas en movimiento no sólo interactúan con campos eléctricos, también experimentan fuerzas en presencia de campos magnéticos. Una carga eléctrica  $q$  que viaja a velocidad  $v$  y está en presencia de un campo magnético  $B$  y un campo eléctrico  $E$  experimenta una fuerza  $F$  que tiene la forma siguiente:

$$F = qE + qv \times B \quad (1)$$

El término del campo magnético de la fuerza se conoce como **fuerza de Lorentz**.

La fuerza de Lorentz que experimenta a la partícula es perpendicular al campo magnético y a la velocidad, por lo que la trayectoria se curva. Cuando una partícula es suficientemente rápida, su trayectoria se curva menos que una partícula con menor rapidez porque la fuerza de Lorentz que experimenta es mayor pero la experimenta por menos tiempo.

### 1.2 Transferencia de calor por radiación

Es posible determinar el calor absorbido por medio del cambio en la temperatura de la muestra que se estudia. Esto es cierto cuando el objeto de estudio no se encuentra en una transición de fase, pues en ese caso el calor no se manifiesta como un cambio de temperatura sino en la reestructuración de la configuración microscópica de la muestra. Para un objeto con masa  $m$  con un calor específico  $c$  que experimenta un cambio de temperatura  $\Delta T$ , la diferencia de calor  $\Delta Q$  está dada por:

$$\Delta Q = mc\Delta T \quad (2)$$

### 1.3 Radiación Cherenkov

La **radiación Cherenkov** es el análogo de las explosiones sónicas que producen los jets cuando vuelan más rápido que el sonido. Es un efecto de partículas cargadas que superan la velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas en un medio.

## 2. El funcionamiento y los componentes de un detector

Los detectores dan indicios sobre las propiedades de las partículas que se producen en los aceleradores. El proceso de detección requiere de diversas capas de detectores más pequeños u otros instrumentos.

Las partículas que se producen luego de una colisión viajan en *línea recta*. Un detector requiere de electroimanes para alterar la trayectoria de las partículas con carga eléctrica. Es posible calcular la velocidad y el momento de una partícula observando cuánto se curva su trayectoria en presencia de un imán.

Los detectores también consisten en aparatos de rastreo, calorímetros y detectores que identifican partículas. Estos aparatos sirven para medir el momento y la energía de las partículas y otras características para identificar la entidad en cuestión. El conjunto de dispositivos que compone al detector permite que se pueda identificar qué había en el detector luego de una colisión.

### 2.1 Aparatos de rastreo

Los **aparatos de rastreo** revelan el camino que las partículas con carga eléctrica siguen al interactuar con la sustancia apropiada. El camino no es directamente visible, pero se puede identificar a través de las pequeñas señales eléctricas que la partícula genera a su paso.

### 2.2 Calorímetros

Los **calorímetros** miden la energía que una partícula pierde al pasar a través de este aparato. Se diseñan para absorber la totalidad de la energía de las partículas producidas.

Los **calorímetros electromagnéticos** miden la energía de las partículas como los electrones o los fotones.

Los **calorímetros hadrónicos** sirven para medir la energía de los hadrones (que son las partículas compuestas por quarks, como los protones y los neutrones).

### 2.3 Métodos de identificación

Los métodos para identificar una partícula consisten en identificar su velocidad. Con la velocidad de la partícula y su momento, se puede calcular su masa.

La manera más simple para medir la velocidad es medir cuánto tiempo tarda la partícula en recorrer cierta distancia: para eso se usan sistemas de *tiempo de vuelo*. Otra manera es ver cuánto ioniza la materia a su paso, cosa que se puede medir con ciertos dispositivos.

Las partículas que viajan más rápido que la luz en un medio producen **radiación Cherenkov**. Este fenómeno sirve para

medir la velocidad de una partícula cargada suficientemente rápida.

## 3. El detector de LHCb

El gran colisionador de hadrones por sus siglas en inglés "Large Hadron Collider" es el más grande y más poderoso acelerador de partículas en el mundo. Comenzó sus operaciones el 10 de septiembre de 2008 y permanece hasta el día de hoy. El LHC consiste en un anillo de 27 kilómetros de magnetos superconductores con un número de estructuras aceleradoras que empujan a las partículas a lo largo del camino. [4].



Figura 1: Gran colisionador de Hadrones (LHC)

Dentro del LHC existen diferentes experimentos en forma de detectores, por ejemplo Atlas, CMS o Alice cada uno de los cuales está interesado en la detección de un proceso particular.

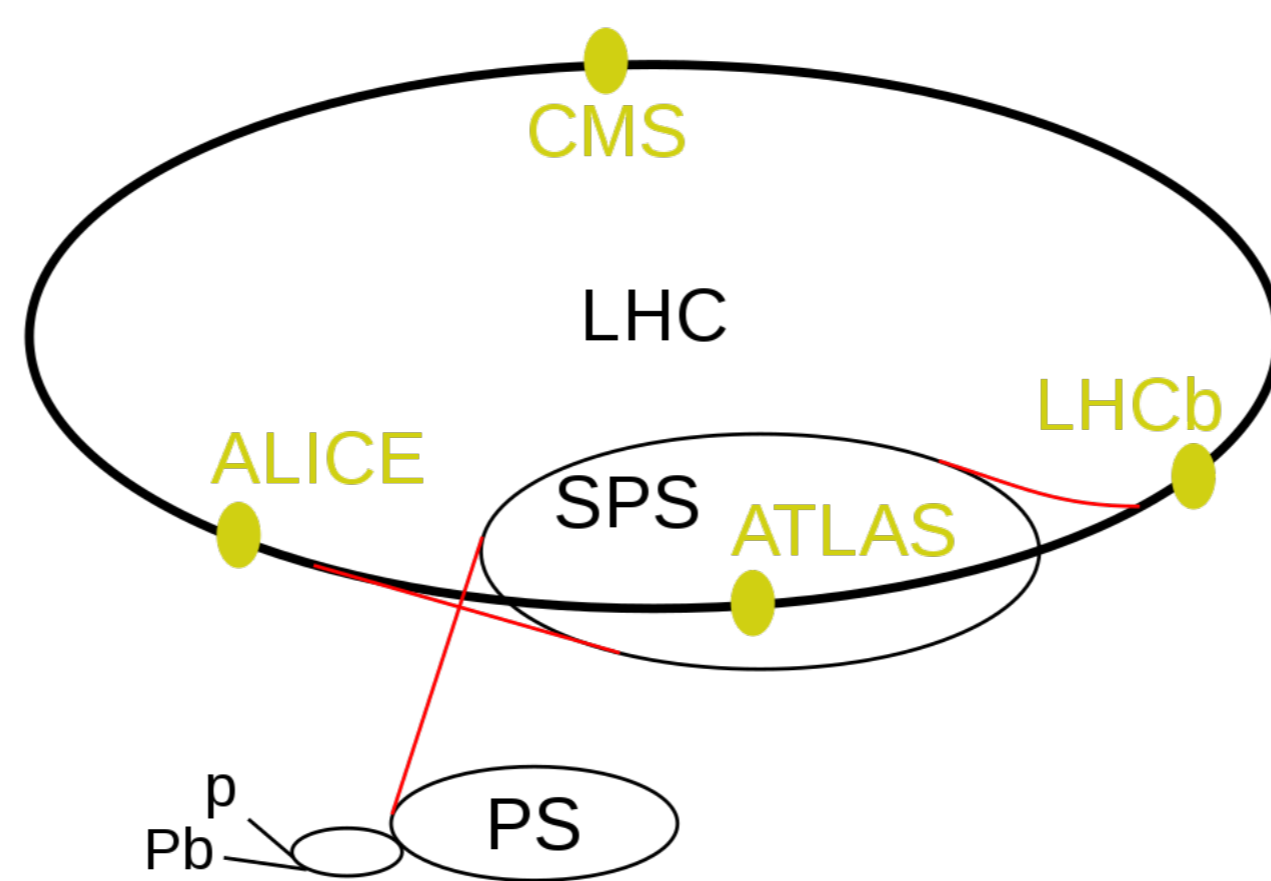


Figura 2: Geometría del LHC

### 3.1 LHCb

El LHCb es un experimento que forma parte del LHC y está interesado en la detección de la desintegración de mesones  $b$ . Los cuales son un tipo de hadrón que está formado por un quark con carga de color *bottom*. Además el experimento también está diseñado para mediciones muy precisas acerca de la **violación CP** [5].

**Meson  $b$ :** Hadrón que está formado por un quark con carga de color *bottom*

Además el experimento también está diseñado para mediciones muy precisas acerca de la **violación CP**

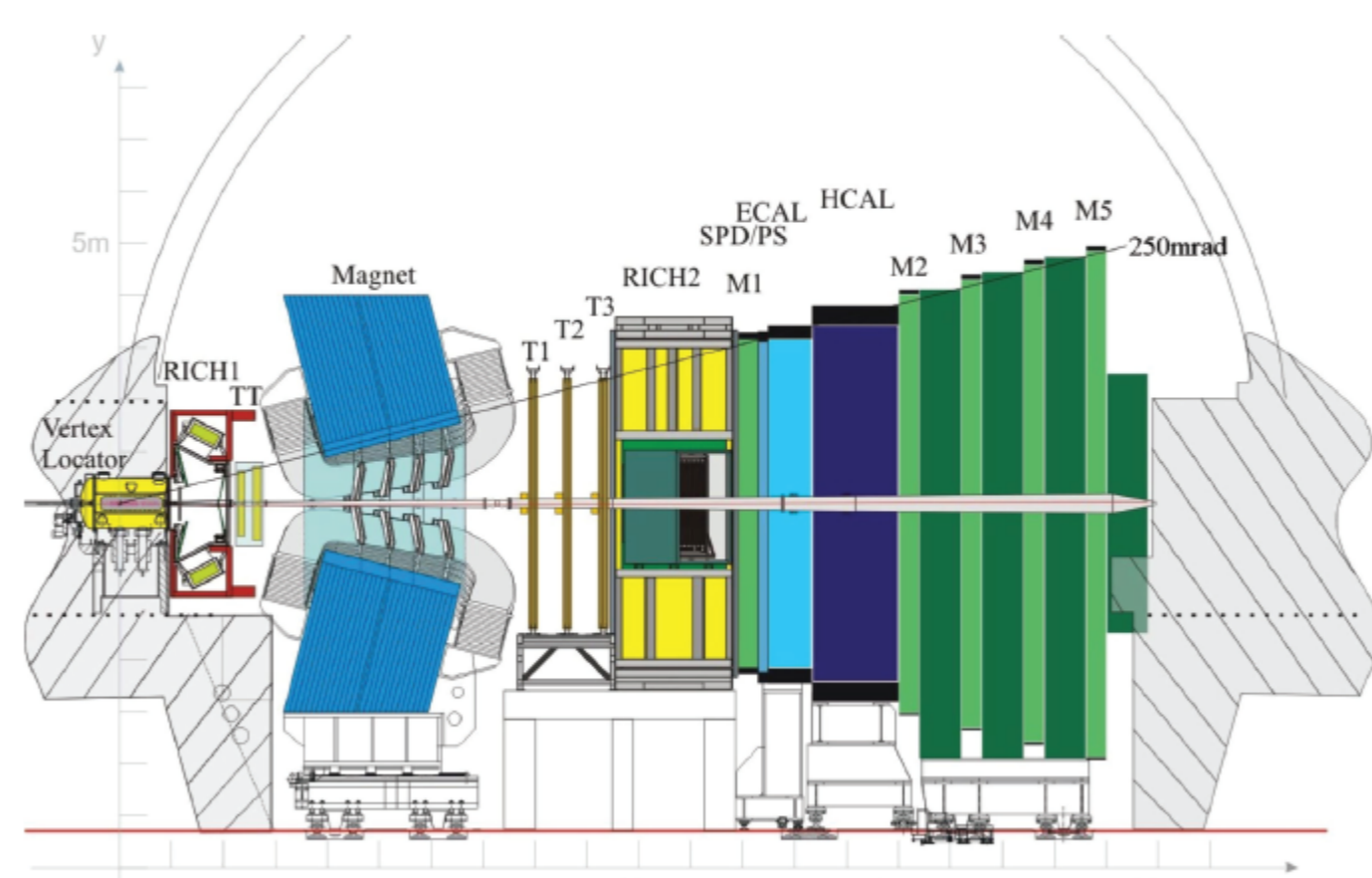


Figura 3: Detector LHCb

LHCb es un espectrómetro de brazo único con una cobertura angular de aproximadamente 15 mrad a 300 mrad en el plano. La elección de la geometría del detector es dada por el hecho de que a altas energías la producción de  $b$ - y  $b$ -hadrones es altamente correlacionada, de manera que están predominantemente producidas de la misma forma hacia adelante o hacia atrás, es decir que no se requiere de una forma simétrica del detector, tal como pasa con otros experimentos (CMS, Atlas) sino que es suficiente con cubrir uno de los lados. Podemos observar el diseño del LHCb en la figura 3.

### 3.2 Identificación de cada partícula

La identificación de partículas está dada por cuatro diferentes detectores: el sistema del calorímetro, los dos detectores RICH y la estación de muones. Por ejemplo, la detección de partículas neutras está basada en la información proporcionada por los 4 componentes que forman el calorímetro: ECAL (calorímetro electromagnético), HCAL (calorímetro de hadrones), SPD (Scintillator Pad) y PS (Pre-Shower). Un calorímetro, es un dispositivo conocido desde

hace muchos años, su función es determinar la energía en forma de calor suministrada o recibida por las colisiones. De esta manera, en función de la cantidad de energía detectada se pueden identificar distintas partículas producto de las colisiones.

## 4. El detector de BES III

El **BES III (Beijing Spectrometer III)** es un experimento de física de partículas en el BEPC II (Beijing Electron-Positron Collider II) en el IHEP (Institute of High Energy Physics).

- Se investiga la física del quark charm y del lepton tau
- Se hacen pruebas sobre QCD (Quantum Chromodynamics).
- Se busca física más allá del Modelo Estándar.

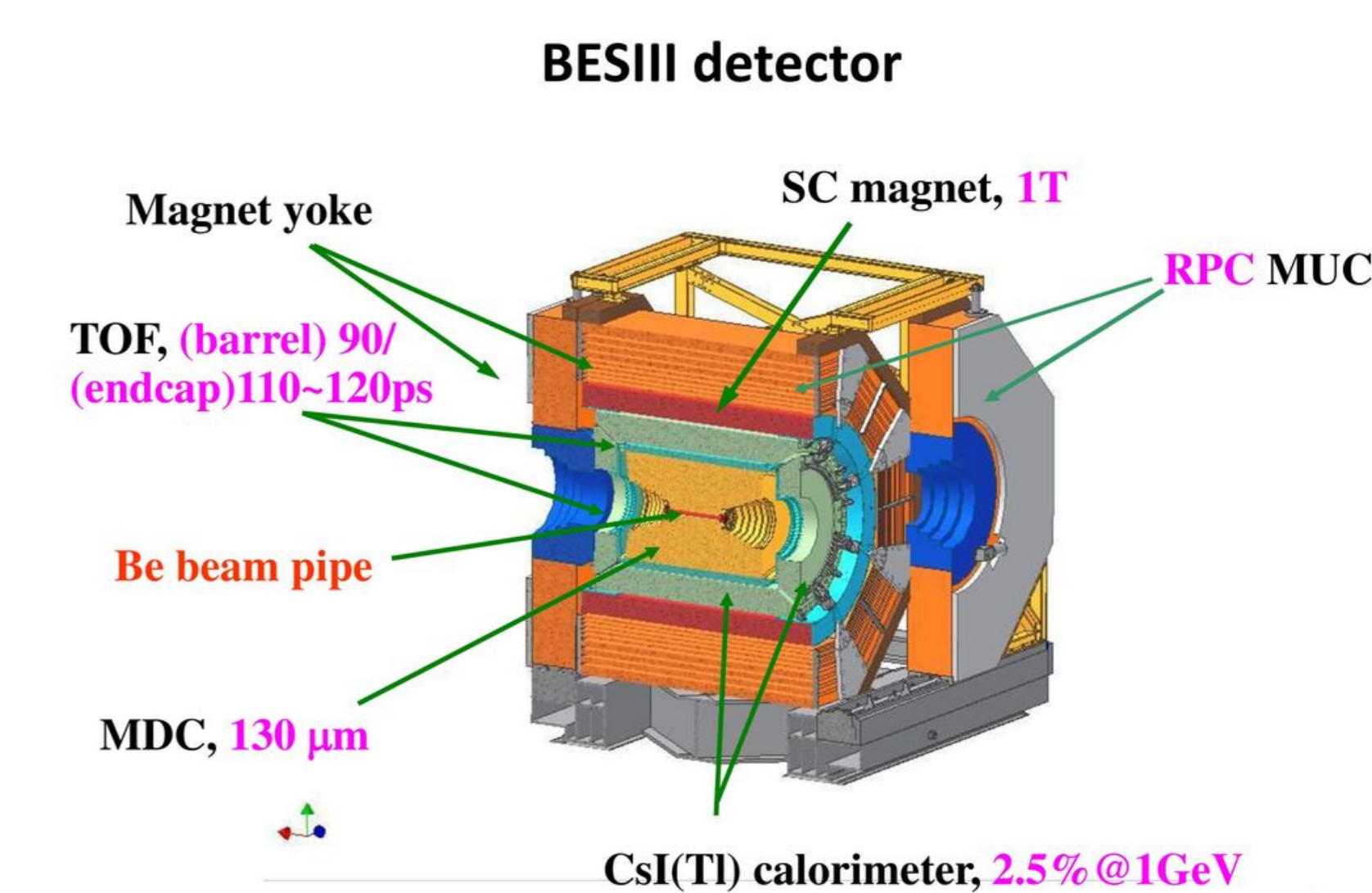


Figura 4: Diagrama del detector BES III. (Ming Shao, <https://slideplayer.com/slide/12849911/>)

### 4.1 Componentes de BES III

1. Un **magneto** superconductor solenoidal con un campo central de 1,0 T. (Para hacer que las partículas se dirijan a los dispositivos del detector) → **Imán**
2. Una **cámara de multihilos** (multilayer drift chamber) de Helio gaseoso. (Para medir el momento y estimar la trayectoria) → **Aparato de rastreo**
3. Un **calorímetro** de cristal  $CsI(Tl)$ . (Para medir energía y posiciones) → **Calorímetro**
4. Un sistema de **tiempo de vuelo** (Time-of-flight). → **Método de identificación**
5. Una **cámara de muones**. (Para medir la posición de las partículas a un tiempo dado e identificar muones) → **Identificador de partículas**

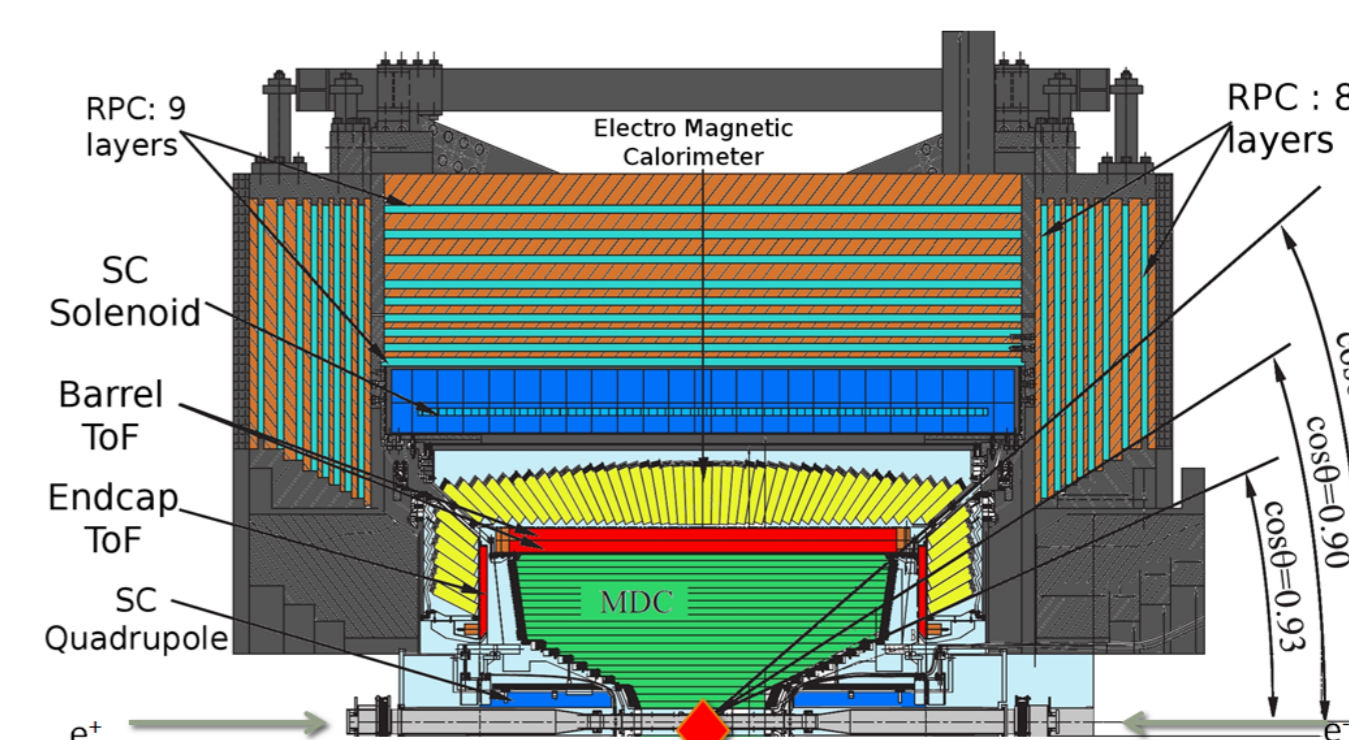


Figura 5: Diagrama del detector BES III en perspectiva lateral. (BESIII Experiment, <http://english.ihep.cas.cn/bes/doc/2124.html>)

## Referencias

- [1] DAS, A. (2013). *Lectures on Electromagnetism*. World Scientific. Second edition.
- [2] ALAEIAN, H. (2014). *An Introduction to Cherenkov Radiation*. Recuperado el 26 de junio del 2021 de <http://large.stanford.edu/courses/2014/ph241/alaian2/>.
- [3] CERN. (s.f.). *How a detector works*. Recuperado el 20 de junio del 2021 de <https://home.cern/science/experiments/how-detector-works: :text=Accelerators>
- [4] "The Large Hadron Collider." CERN, 21 June 2021, [home.cern/science/accelerators/large-hadron-collider](http://home.cern/science/accelerators/large-hadron-collider). Accessed 23 June 2021.
- [5] LHCb Collaboration. "LHCb detector performance." *International Journal of Modern Physics A* 30.07 (2015): 1530022.
- [6] LI, W.-D., MAO, Y.-J., & WANG, Y.-F. (2009). *Chapter 2: The BES-III Detector and Offline Software*. *International Journal of Modern Physics A*, 24(supp01), 9–21. doi:10.1142/s0217751x09046424