

MEJORAS DE TRIGGER Y ESTUDIOS PARA LA BUSQUEDA DEL BOSON DE HIGGS EN TEVATRON

M. Vidal¹, O. González¹

¹ División de física experimental de altas energías. Departamento de investigación básica. CIEMAT. Avenida Complutense 22, 28040 Madrid (Spain)

vidal@fnal.gov

Resumen: En el presente trabajo se hace una descripción de una de las mejoras acometidas en el experimento CDF encaminada a la optimización de la adquisición de datos en el nuevo régimen de alta luminosidad instantánea en el acelerador Tevatron. Concretamente se describirá la mejora de *trigger L2-Calorimeter Trigger Upgrade*. Los análisis relacionados con la producción de jets y energía transversal perdida (MET) se ven especialmente beneficiados por este proyecto. En particular, los canales de producción asociada del bosón de Higgs (H) con bosones débiles Z y W resultan ideales para sacar el máximo partido del proyecto, particularmente en los canales en que el bosón Z se desintegra en dos neutrinos o el bosón W se desintegra leptónicamente y el leptón cargado no es reconstruido. Estos canales posibilitan la búsqueda del bosón de Higgs cuando éste se desintegra en un par de quarks b anti- b formando jets, y proporciona mejores perspectivas para la búsqueda del Higgs en Tevatron más allá del límite alcanzado por los experimentos de LEP. El grupo de CIEMAT en CDF está involucrado en todos los aspectos del proceso: la mejora del trigger a nivel de hardware, el estudio de herramientas y el análisis de los canales mencionados.

1. Introducción

En el mecanismo de Higgs del Modelo Estándar (ME), los fermiones y los bosones débiles de gauge adquieren masa mediante la interacción con el campo de Higgs. El campo de Higgs se describe un doblete complejo, donde tres de los cuatro campos reales se acoplan a los bosones de gauge SU(2) y el cuarto campo observable se conoce como bosón de Higgs. La existencia de esta partícula aún sin descubrir es la piedra angular del ME y su búsqueda resulta prioritaria para la física de altas energías. Las búsquedas realizadas en las últimas décadas no han logrado una evidencia de la existencia de esta partícula aunque han excluido su existencia con una masa inferior a $114.4 \text{ GeV}/c^2$ [1]. La comunidad científica confía en que los resultados del LHC proporcionen información definitiva sobre la existencia del bosón de Higgs.

Hasta la llegada de estos resultados, el acelerador Tevatron (Fermilab, EE.UU.) donde se analizan colisiones protón-antiprotón a energías grandes, es el mejor candidato para estudiar la posible existencia de este bosón. En estas interacciones, el modo de producción más probable de Higgs es debido a fusión de gluones a través de un *loop* de quarks. Alrededor del 70% de los bosones de Higgs se desintegran en dos quarks b produciendo dos b -jets en el estado final. Estos sucesos resultan inobservables en el fondo de producción de jets en colisiones hadrónicas, por lo que los procesos más realistas para el estudio de la producción de Higgs sean aquellos en los que se produce el Higgs en relación a un bosón electrodébil (Z, W). La presencia de estos bosones da

lugar a topologías más fácilmente identificables tanto en el análisis de los datos como en el sistema de adquisición de los mismos (*trigger*).

El buen hacer de la división de aceleradores de Fermilab, ha llevado al Tevatron a alcanzar luminosidades instantáneas récord para un colisionador hadrónico y que augura la realización de análisis con una muestra grande de datos cuya sensibilidad a la producción del Higgs será suficiente para explorar regiones no excluidas hasta la fecha. El aumento de luminosidad del acelerador conlleva unas dificultades experimentales para la adquisición de datos producidos a tan alta frecuencia. El desafío de seleccionar sucesos a tiempo real requiere mejoras en el *trigger* del detector CDF que fue diseñado y optimizado para luminosidades instantáneas menores. Actualmente se están implementando diversas mejoras, siendo su principal motivación, ampliar las capacidades de CDF para la búsqueda del bosón de Higgs.

Aunque la prioridad actual es la adquisición de datos de forma eficiente que posibilite la realización de análisis con una muestra grande de datos, se están realizando estudios de para aumentar la sensibilidad en las búsquedas de Higgs en CDF, además, el nuevo régimen de luminosidades instantáneas presenta un nuevo entorno experimental en el que se produce el solapamiento de diversas interacciones protón-antiprotón de forma simultánea. Este entorno será muy común en el futuro LHC y Tevatron posibilita el desarrollo y puesta a punto de técnicas experimentales que permitan comprender los efectos de este solapamiento en reconstrucción de variables cinemáticas o reconocimiento de los procesos en investigación.

2. CDF Run II.b

El *Collider Detector at Fermilab* (CDF Run II.b) es un experimento multipropósito diseñado para el estudio de colisiones protón-antiprotón a energías grandes. Este experimento combina un reconstructor de trazas de partículas cargadas de alta precisión con un calorímetro proyectivo y un sistema de detección de muones. El sistema de reconstrucción de trazas está contenido dentro de un solenoide superconductor de 4,8 m de longitud y 1,5 m de radio que genera un campo magnético de 1,4 T paralelo al eje del haz del acelerador. Los sistemas de calorimetría y detección de muones están situados en el exterior de dicho solenoide.

Actualmente el experimento CDF ha entrado en un régimen de luminosidades instantáneas en torno a $250 \times 10^{30} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ que supone un nuevo desafío para los sistemas de adquisición de datos del diseño original y en particular para el sistema de *trigger*. Por este motivo la colaboración CDF ha puesto en marcha una mejora del sistema de *trigger*, *L2-calorimeter trigger upgrade* [2] que será descrita más adelante en este documento.

La tasa de colisiones producida en el Tevatron es mucho mayor que la tasa a la cual es posible almacenar en cinta los sucesos producidos en dichas colisiones. El papel del sistema de *trigger* es la adquisición eficiente de la mayor cantidad posible de sucesos de interés físico producidos en las colisiones protón-antiprotón. Este sistema se ha implementado en CDF con una arquitectura de tres niveles. Cada nivel, proporciona una tasa de reducción de datos suficiente para permitir el procesado de los mismos en el siguiente nivel con un tiempo muerto mínimo. El nivel 1 (L1), implementado en hardware, toma decisiones basadas en cantidades físicas básicas. La decisión de L1 tiene lugar cada 5,5 μs después de cada colisión. El nivel 2 (L2), formado por una combinación de hardware y software, permite una reconstrucción limitada de los

sucesos. La decisión de L2 conlleva un tiempo aproximado de 25 μ s. El nivel 3 (L3) está formado completamente por software y toma decisiones a partir de una reconstrucción de los sucesos muy cercana a la reconstrucción final.

3. L2-Calorimeter Trigger Upgrade

El actual *L2-calorimeter trigger* está basado en un algoritmo simple utilizado en CDF Run I. Este sistema ha estado funcionando correctamente en CDF Run II a luminosidades pequeñas, sin embargo, en el actual régimen de luminosidades instantáneas logradas en Tevatron este algoritmo comienza a mostrar sus carencias. Como resultado de este aumento de luminosidad, algunos de los *triggers* más importantes en los estudios de física, están teniendo incrementos importantes en sus secciones eficaces como función de la luminosidad a partir de $180 \times 10^{30} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (figura 1). En particular, se ven afectados los *triggers* de energía transversa perdida (MET) y jets. Este aumento en la sección eficaz del *trigger* se traduce en un aumento de la ocupación de ancho de banda en el nivel 2, hasta su saturación y la consiguiente pérdida de datos.

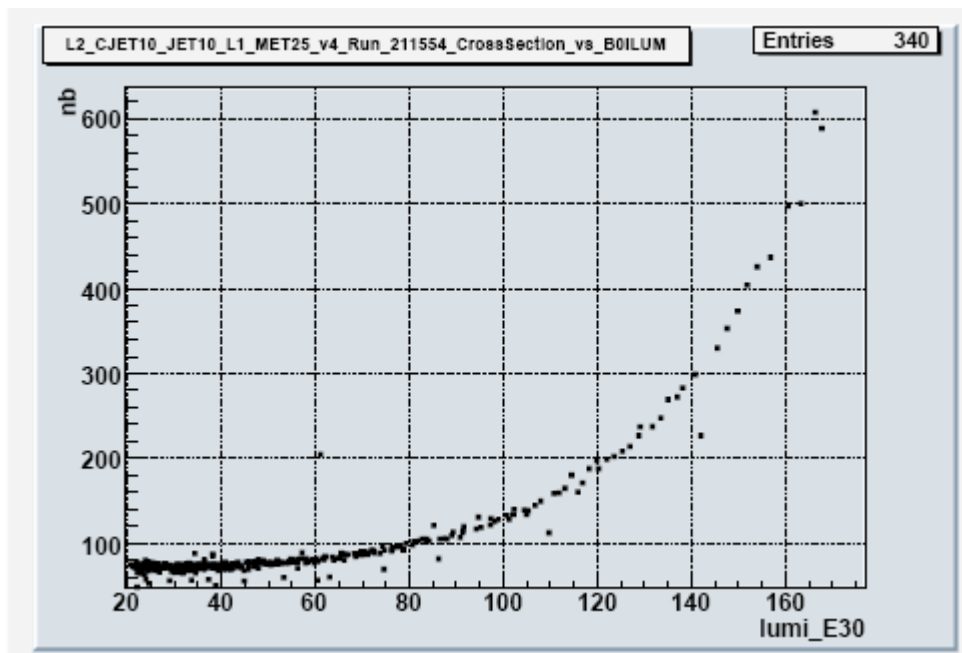


Figura 1. Sección eficaz de *trigger* (MET + 2 jets) en función de la luminosidad. *Trigger* utilizado en búsquedas de Higgs.

Como respuesta a los problemas del *L2-calorimeter trigger* debidos a luminosidades altas, la colaboración CDF Run II.b ha puesto en marcha una mejora del sistema de trigger. Dicha mejora consiste en la implementación de un nuevo algoritmo de jets por medio de software y en la obtención de toda la información de las torres del calorímetro a nivel 2 de *trigger*. El nuevo algoritmo, a diferencia del antiguo que reconstruía clusters por asociación de torres en el calorímetro, asigna un cono a cada deposición de energía encontrada en el detector, susceptible de ser identificada como un jet. Con este nuevo método, el trigger mejora su capacidad de selección de jets. A su vez, el nuevo sistema permite el uso de toda la información energética que permite el detector (10 bits) a L2. De esta forma se mejora de forma apreciable la decisión de L2 en variables como la MET.

Para llevar a cabo este proyecto ha sido necesario reemplazar el antiguo hardware del L2-Calorimeter, basado en placas DCAS. El nuevo sistema cuenta con placas multipropósito PULSAR programables y transmisión de datos en formato óptico S-LINK. El proyecto PULSAR de CDF, ha creado una placa de propósito general con interfaz VME que permite el uso de placas *mezzanine* adaptadas a las necesidades del usuario [3] y la transmisión de datos en formato S-LINK mediante placas *mezzanine* del CERN y University of Chicago. Estas nuevas placas permiten un tratamiento más versátil de los datos debido a sus tres procesadores programables y a su vez la posibilidad de obtener una señal óptica única procesable por un PC.

El grupo de CIEMAT en CDF ha contribuido de forma apreciable tanto en el test del nuevo hardware como en su implementación en el sistema.

4. Análisis de datos

Las mejoras presentadas en los anteriores apartados de este trabajo proporcionan un escenario ideal para el análisis de datos obtenidos con triggers de MET + jets. En el caso particular de la búsqueda del bosón de Higgs, son especialmente beneficiados por las mejoras del sistema de trigger, los canales de producción asociada del bosón de Higgs con bosones débiles Z y W . El análisis de estos canales permite el uso de triggers de dos jets producidos por los quarks b y anti- b de la desintegración del H y MET debida a la desintegración en dos neutrinos del bosón Z o la desintegración semileptónica del bosón W .

El análisis de estos canales debe estar precedido por un cuidadoso estudio de los efectos de luminosidades grandes y sensibilidad en esta nueva etapa de la toma de datos en CDF. El nuevo escenario con solapamiento de diversas interacciones protón-antiprotón de forma simultánea requiere el estudio de número de vértices frente a la luminosidad, la revisión de algunas de las herramientas utilizadas para la reconstrucción de objetos de análisis y nuevos estudios de Monte Carlo.

El desarrollo y conocimiento de estas herramientas será muy útil para la realización de análisis en CDF Run II.b así como para el estudio de los datos en el LHC.

Bibliografía

- [1] G. Abbiendi, et al. Phys. Lett. B565 (2003) 61-75.
- [2] CDF Collaboration. Proposal for Level-2 Calorimeter Trigger Upgrade. CDF Public Note 8415 (2006).
- [3] CDF Collaboration. Mezzanine Card Specifications Level-2 Calorimeter Trigger Upgrade. CDF Public Note 8533 (2006).