

Método para aumentar la sensibilidad en fotomultiplicadores para su uso en Telescopios Cherenkov

D. Paneque^{1,2}, H.J. Gebauer¹, E. Lorenz¹, M. Martinez², R. Mirzoyan¹

¹ Max-Planck-Institute fuer Physik, Foheringer Ring 6, D-80805 Munich, Germany

² Institut de Física d'Altes Energies, UAB, Edifici Cn, E-08193, Bellaterra, Barcelona

I. INTRODUCCION Y MOTIVACION

Cuando se requiere una detección rápida de fotones en una superficie relativamente grande ($\geq 0.5 \text{ m}^2$), los detectores mas comúnmente usados son los fotomultiplicadores (*PMT*); pues ofrecen una gran sensibilidad (capaces de detectar fotones individuales) y una muy buena resolución temporal ($\approx 1 \text{ ns FWHM}$). Una manera de evaluar la sensibilidad de un *PMT* es mediante la eficiencia cuántica (*QE*), que nos da la probabilidad de detectar un fotón que incide en el área activa del susodicho. Esta probabilidad depende de la longitud de onda del fotón. Actualmente, *PMTs* tienen una *QE* cerca de 25% en el rango espectral entre 350 y 450 nm. Extender la sensibilidad a longitudes de onda por debajo de 300 nm requiere ventanas de cuarzo, mientras que por encima de 450 nm, son necesarios materiales de electroafinidad negativa (como GaAs, GaAsP...) para conseguir una *QE* elevada.

En muchas aplicaciones, un incremento en la *QE* es muy conveniente. Un caso típico es el uso de *PMTs* en Telescopios Cherenkov (*IACT*) para astronomía terrestre de rayos gamma. Las nuevas generaciones de estos detectores pretenden bajar el Umbral en la Energía de detección (E_{th}), actualmente $\approx 250 \text{ GeV}$, y solapar observaciones terrestres con las realizadas mediante detectores situados en satélites, que observan por debajo de 10 GeV. En *IACTs*, E_{th} es en primera aproximación inversamente proporcional a la eficiencia de colección y conversión (fotón-electrón) de la luz Cherenkov; de manera que un aumento en la *QE* de los *PMTs* disminuye E_{th} , de la misma manera que lo haría el mismo incremento en el área del reflector.

MAGIC es un *IACT* con un reflector de 239 m^2 situado en la isla de La Palma. En su primera fase, la cámara del telescopio, está equipada con *PMTs*, y el E_{th} esperado es de unos 30 GeV. Los *PMTs* utilizados son los *9116A* y *9117A* de Electrón Tubes Inc, ambos con ventanas de entrada hemisféricas (2.5 y 3.8 cm \varnothing respectivamente) de borosilicato y con fotocátodo bialcalino (Rb-Cs).

II. METODO

En el proceso de detección de luz mediante un *PMT*, el fotón tiene que ser primero absorbido en el fotocátodo (*PhC*) del *PMT*, y posteriormente, el electrón excitado (por el fotón incidente) debe poder salir del *PhC* y multiplicarse en el sistema de dínodos del *PMT*. De esta manera, en primer orden de aproximación, se puede considerar que *QE* es proporcional al producto de la probabilidad de absorber el fotón incidente ($P^{ph}_{absorcion}$), que depende de la longitud de onda del fotón y de la distancia recorrida por éste dentro del *PhC*, y la probabilidad de que el electrón pueda escapar del *PhC* (P^{e-}_{escape}), que depende de la energía de éste y de la distancia que recorre dentro del *PhC*. Aumentando el grosor del *PhC*, se incrementa $P^{ph}_{absorcion}$, pero P^{e-}_{escape} disminuye. Debido a este efecto contrapuesto, para un rango espectral fijado, existe un grosor determinado que maximiza la *QE* del *PMT*.

Nótese que en este simple escenario, es posible aumentar la *QE* del *PMT* revistiendo la ventana de entrada con un material que disperse la luz. De esta manera, los fotones entran en el *PMT* con un cierto ángulo y su recorrido medio dentro del *PhC* aumenta;

mientras que la distancia media que debe efectuar un electrón dentro del *PhC* no varía. Si además, en el recubrimiento se incluye un desplazador de longitud de onda (*WLS*), se puede conseguir un incremento adicional de la sensibilidad en el ultravioleta.

Hemos conseguido revestir nuestros *PMTs* con una laca que contiene un *WLS* y que produce este efecto dispersor en la ventana de entrada, causando el significativo aumento en la *QE* que se puede observar en la figura 1.

La técnica está basada en las prescripciones dadas en G. Eigen *et al*¹ para aplicar *WLS* en *PMTs*, bañándolos en una mezcla que contiene el *WLS* y un plástico que hace la función de enganchar el *WLS* a la ventana de borosilicato de los *PMTs*. Modificando las cantidades de la mezcla (nosotros utilizamos 5 g de Paraloid B72 y 0.5 g de p-Terphenyl disueltos en 50 ml de Diclorometano) y sumergiendo el *PMT* varias veces en la solución se consigue una superficie escarchada que dispersa los fotones incidentes. Esta capa dispersiva, además de aumentar el recorrido medio de la luz dentro del *PhC*, tiene otras consecuencias que afectan directamente a la *QE* del *PMT*. Por un lado, debido a la superficie rugosa del recubrimiento, esperamos una mayor reflexión de la luz (para iluminación perpendicular), lo cual tiene un efecto negativo sobre la sensibilidad del *PMT*. Sin embargo, esta mayor reflectividad impide que algunos de los fotones reflejados en la superficie del *PhC* (≈30% a 600nm) escapen del *PMT*, lo cual es beneficioso para la sensibilidad del *PMT*. Por otro lado, la dispersión de la luz puede ser tal en algunos casos, que haga que los fotones queden atrapados por reflexión interna entre el recubrimiento y el *PhC*, aumentando significativamente la probabilidad de que sean absorbidos, y por tanto, incrementando considerablemente la *QE* del *PMT*. Debido a la forma hemisférica de la ventana de nuestros *PMTs*, las trayectorias de algunos de los fotones dispersados cruzan el *PhC* dos veces, lo cual aumenta también la *QE* efectiva del *PMT*². No hemos realizado ningún estudio específico para descifrar la contribución de cada uno de estos efectos; sin embargo, el efecto neto es el incremento en la *QE* que se muestra en la figura 1.

Convolucionando este incremento en la sensibilidad de los *PMTs* con el espectro de fotones Cherenkov que se desea detectar con MAGIC, se obtiene un incremento en la eficiencia de detección de ≈20%, lo que equivale a casi 50 m² más de espejo.

Debido a esta considerable mejora en el funcionamiento del telescopio MAGIC, todos los *PMTs* fueron revestidos utilizando este método en verano de 2002.

¹G. Eigen, E. Lorenz, Nucl. Instr. And Meth. Phys. Res. A 167 (1979) 405.

²A. Ostankov, D. Paneque *et al* IEEE Trans. Nucl. Sci. 48 (4 Part 1) (2001) 1215

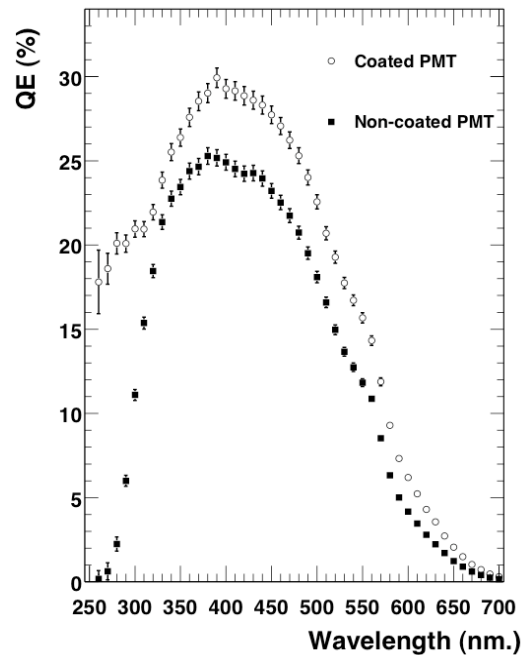


Figura 1 Sensibilidad de un *PMT* antes y después de la aplicación del revestimiento.