

Propiedades espectropolarimétricas y de calidad de imagen de los etalones Fabry-Pérot. Aplicaciones a instrumentación solar

Autor: Francisco Javier Bailén Martínez (fbailen@iaa.es)

Tesis doctoral dirigida por: David Orozco Suárez y José Carlos del Toro Iniesta

Centro: Instituto de Astrofísica de Andalucía / Universidad de Granada

Fecha de lectura: 25 de junio de 2021

El uso de etalones Fabry-Pérot como filtros sintonizables de banda estrecha ha experimentado un fuerte crecimiento en las últimas décadas en el ámbito de la instrumentación solar. Sin embargo, en la mayoría de estudios hasta la fecha solo se ha evaluado su comportamiento hasta cierto punto —por ejemplo, suponiendo efectos puramente monocromáticos, comportamientos isotropos o iluminación ideal—. En este trabajo abordamos las características espectrales, polarimétricas y de calidad de imagen de los etalones Fabry-Pérot, así como su influencia en espectropolarímetros solares en la configuración colimada y en la telecéntrica, prestando una especial atención a (i) el efecto del ancho de banda finito del etalón, (ii) los posibles efectos birrefringentes que aparecen en etalones sólidos, (iii) las posibles imperfecciones en la iluminación y (iv) el impacto de los defectos de los etalones en las observaciones.

Esta tesis está basada en una compilación de cuatro artículos sobre instrumentos basados en etalones Fabry-Pérot, publicados en *The Astrophysical Journal Supplement Series*. En nuestro primer artículo comenzamos con una revisión general de las características de los etalones. Repasamos el enfoque histórico seguido para evaluar el impacto de las irregularidades e inhomogeneidades de los etalones en el perfil de transmisión y generalizamos las expresiones empleadas más comúnmente con el fin de incluir el impacto de defectos de magnitud arbitraria en etalones tanto cristalinos como de aire. También examinamos su respuesta espectral y la calidad de imagen esperada

para cada configuración, colimada y telecéntrica, incluyendo los efectos policromáticos provocados por el ancho de banda finito del filtro, así como posibles desviaciones de la iluminación respecto a la ideal. En concreto, nos centramos en los efectos de apodización de pupila que ocurren en las monturas telecéntricas y en las consecuencias de las asimetrías, desplazamientos y ensanchamientos inducidos en el perfil de transmisión y en la PSF cuando el etalón está girado respecto al eje óptico del instrumento, cuando se tienen en cuenta errores en el alineamiento de los componentes ópticos, o por desviaciones de la propagación paraxial ideal de la luz a lo largo del instrumento.

En el segundo artículo abordamos la respuesta polarimétrica de etalones sólidos uniáxicos (como los de LiNbO_3) y demostramos que la matriz de Mueller en estos etalones depende solo de cuatro coeficientes espectrales que cambian rápidamente a lo largo del perfil de transmisión y que la respuesta polarimétrica puede formularse como la combinación de las matrices de Mueller de un retardador y de un espejo, correctamente moduladas a lo largo del perfil de transmisión. También incluimos el efecto de tener diferentes orientaciones del plano principal del cristal en cada configuración y formulamos la dependencia explícita de la birrefringencia inducida en cristales uniáxicos con la dirección de la luz incidente y con la orientación del eje óptico. Por último, evaluamos la respuesta de un etalón de niobato de litio para las monturas colimada y telecéntrica y estudiamos la dependencia de su PSF con la polarización de la luz incidente.

En el tercer artículo evaluamos las señales espurias de las velocidades del plasma y del campo magnético debidas a los efectos estudiados en los artículos anteriores: la apodización de pupila que surge en monturas telecéntricas, las asimetrías en la apodización de pupila que aparecen cuando hay imperfecciones en la iluminación de etalones telecéntricos y los efectos birrefringentes que aparecen en las dos configuraciones cuando se usa un etalón uniáxico. Para este fin simulamos un espectropolarímetro en configuraciones similares a las de PHI e IMAx y comparamos las velocidades y campos magnéticos del plasma a lo largo del campo de visión con los obtenidos cuando se supone un comportamiento ideal. Para ello, tenemos en cuenta la localización del etalón dentro del tren óptico y distinguimos entre dos casos importantes: cuando se coloca detrás del polarímetro (como ocurre en instrumentos de doble haz) y cuando se sitúa antes del analizador. Evaluamos también la posible contaminación entre canales ortogonales que aparece en instrumentos de doble haz y mostramos que la birrefringencia tiene un impacto mínimo en la medida del vector de Stokes en comparación con las señales artificiales esperadas por la apodización de pupila.

En el cuarto artículo presentamos una fórmula analítica que describe el campo eléctrico transmitido en la configuración telecéntrica y que ajusta de manera excelente con los resultados obtenidos tras resolver de forma numérica la ecuación del campo eléctrico. Usamos esta expresión para inferir tanto el perfil de transmisión como el frente de onda transmitido. En concreto, obtenemos expresiones para la degradación de frente de onda producida por errores a lo largo de la huella del haz incidente y discutimos la magnitud máxima necesaria para lograr alcanzar el límite de difracción. Para ello, evaluamos la dependencia del error del frente de onda con el número f , con la reflectividad y con la resolución espectral, a la vez que comparamos de forma cualitativa el comportamiento de las monturas telecéntricas con la esperada en instrumentos colimados atendiendo a consideraciones relacionadas con el tamaño, la calidad y el coste del etalón y del propio instrumento. Por último, proponemos un método para evaluar analíticamente la matriz de Mueller de etalones telecéntricos adaptando la formulación derivada para el caso isotropo.

Tesis disponible en: <https://digital.csic.es/handle/10261/244671>

