

FIS02014- Limite de detecção , sinal e ruído
Prof. Basílio X. Santiago

Seja S o sinal causado num detetor, acoplado a um telescópio de abertura D , por uma fonte pontual de magnitude m . Esse sinal é proporcional à área da superfície primária do telescópio, ou seja a D^2 , e ao tempo de exposição usado, t . Além disso, é claro, será proporcional ao fluxo F da fonte.

$$S \propto D^2 t F \propto D^2 t 10^{-0.4m} \quad eq.(1)$$

A constante de proporcionalidade que entra na equação acima depende de vários fatores, como a sensibilidade do detector à radiação incidente e às condições atmosféricas no momento da observação .

Fixemos inicialmente o detetor, as condições atmosféricas e o tempo de exposição . Vamos considerar o efeito de variar a abertura do telescópio. Se o sinal mínimo para que uma fonte possa ser considerada como detetada é S_{lim} , temos

$$S_{lim} \propto D^2 F_{lim,D}$$

para um telescópio de abertura D , onde $F_{lim,D}$ representa o fluxo da fonte que gera esse sinal mínimo. Em outras palavras, fontes mais tênues que este valor não serão detetadas com este sistema telescópio + detetor, pelo menos não com o tempo t aqui mantido fixo.

Para um telescópio com abertura d acoplado ao mesmo detetor, temos:

$$S_{lim} \propto d^2 F_{lim,d}$$

Como S_{lim} é o mesmo, já que é definido pelo detetor, teremos:

$$\frac{D^2}{d^2} = \frac{F_{lim,d}}{F_{lim,D}}$$

Expressando em termos de magnitudes:

$$m_{lim,d} - m_{lim,D} = -5 \log\left(\frac{D}{d}\right)$$

$$m_{lim,D} = m_{lim,d} + 5 \log\left(\frac{D}{d}\right)$$

Qual o valor da constante de proporcionalidade que entra na eq. (1) dada acima? Essa é uma pergunta ao mesmo tempo importante e de resposta complexa. Na verdade, cada elemento óptico do sistema de observação e cada meio entre fonte e observador irá reduzir a energia EM (dada por $F D^2 t$) aproveitada para gerar o sinal. A atmosfera, por exemplo, atenua a radiação que por ela passa de maneira que depende fortemente do comprimento de onda. Além disso, a atenuação pela atmosfera depende do tempo, já que as condições climáticas variam. Podemos quantificar então o efeito atmosférico por um termo $k_A(t) < 1$.

Observações astronômicas em geral fazem uso de filtros que só deixam passar radiação EM dentro de um domínio limitado de comprimentos de onda. Há filtros de banda larga, que cobrem domínios de $\sim 1000 \text{ \AA}$, e outros de banda estreita, cobrindo por vezes poucas dezenas de \AA . Isso será mais bem discutido na parte de Fotometria. Então podemos definir um outro fator na eq. 1 que leva em conta o filtro, $k_F < 1$.

Na verdade, todos os elementos ópticos, como espelhos, lentes, colimadores, etc, irão reduzir a energia EM que chega ao plano focal. Podemos, de forma simplificada, introduzir então um termo

geral para o telescópio e outros acessórios (exceto o filtro, já quantificado), $k_T < 1$.

Finalmente, temos o detector, que efetivamente converte a energia EM que chega ao plano focal em um sinal, contribuindo com um termo $k_D < 1$. Esse é comumente chamado de eficiência quântica (QE).

Todos esses termos atenuam a radiação, sendo portanto situados no domínio $[0, 1]$. Logo, levando em conta todos esses termos, poderíamos, sob o risco de tornar a expressão muito mais complexa, re-escrever a eq. (1) como:

$$S = k_A(t) k_F k_T k_D D^2 t F \quad eq.(2)$$

Por exemplo, se estamos observando em raios-X, a atmosfera bloqueia praticamente toda a radiação, logo $k_A \simeq 0$ a qualquer instante. Se temos um filtro da banda V, que seleciona radiação no domínio (*visual*) $4800\text{Å} < \lambda < 6000\text{Å}$, então novamente teremos $k_F \simeq 0$ fora desse domínio. Um telescópio refletor com espelho revestido de Al reflete melhor no infra-vermelho, enquanto que o revestimento de prata é melhor no azul. Logo k_T será maior no infra-vermelho e menor no azul com um espelho aluminizado, e vice-versa com espelho revestido de prata.

Finalmente a eficiência dos detector varia muito de um detector para outro. O olho humano, por exemplo, aproveita coisa de $k_D = QE \sim 1\%$ da radiação visível que nele chega. Já um *charge coupled device (CCD)* tem $k_D = QE \sim 0.7 - 0.8$ no mesmo domínio espectral.

Qual o efeito de aumentarmos o tempo de exposição t com um sistema telescópio + detector fixo? Claro que quanto maior o tempo de exposição, mais fótons serão captados e maior o sinal

construído. Então , ao aumentarmos o tempo de exposição , podemos, para um sistema telescópio + detetor qualquer, diminuir o valor de $F_{lim,D}$ que resulta no sinal limite de detecção do sistema, S_{lim} .

Podemos então detetar coisas infinitamente tênues com qualquer sistema, bastando para isso ampliar o tempo de exposição ? Na prática não funciona assim. É que todo sinal tem a si associado um ruído. O próprio sinal S de uma fonte, tem nele incorporado um ruído R , como veremos mais adiante.