

物理実験学 I 中間試験 (90 分) 満点 30 点

身内

2015/05/29

注意事項 ノート、プリントなど、持ち込み可
関数電卓使用可
試験中のコミュニケーション・ネットへの接続不可

I 統計の基礎概念

統計をあまり知らない友人が、「確率の低いくじを多数回引いて期待値を 1 にしたけれども、一度もあたりが出なかった。あのくじおかしい。」と言っていた。統計的にどう説明するか。

(解答例 (配点 5)) 確率の低いくじを多数引いた場合の結果はポアソン分布となる。一度もあたりの出ない確率は 37%ある。

ポアソン分布に 3 点。37%に 2 点。ベルヌーイ試行の式のみは 1 点。

II 統計の応用

γ 線の計測を 1 分間行ったところ、100 事象観測された。統計誤差はどれだけか。1%の統計誤差で観測するためには、どれだけの時間観測する必要があるか?

同じ検出器で中性子の測定を行ったところ、1 分間での観測数は 0 事象だった。1 分あたりの測定値についての上限值は 90%の信頼度で何事象となるか。10 分の測定を行ったところ 1 事象観測された。下限値と上限値を求め、1 分間の測定と矛盾があるかないか議論せよ。

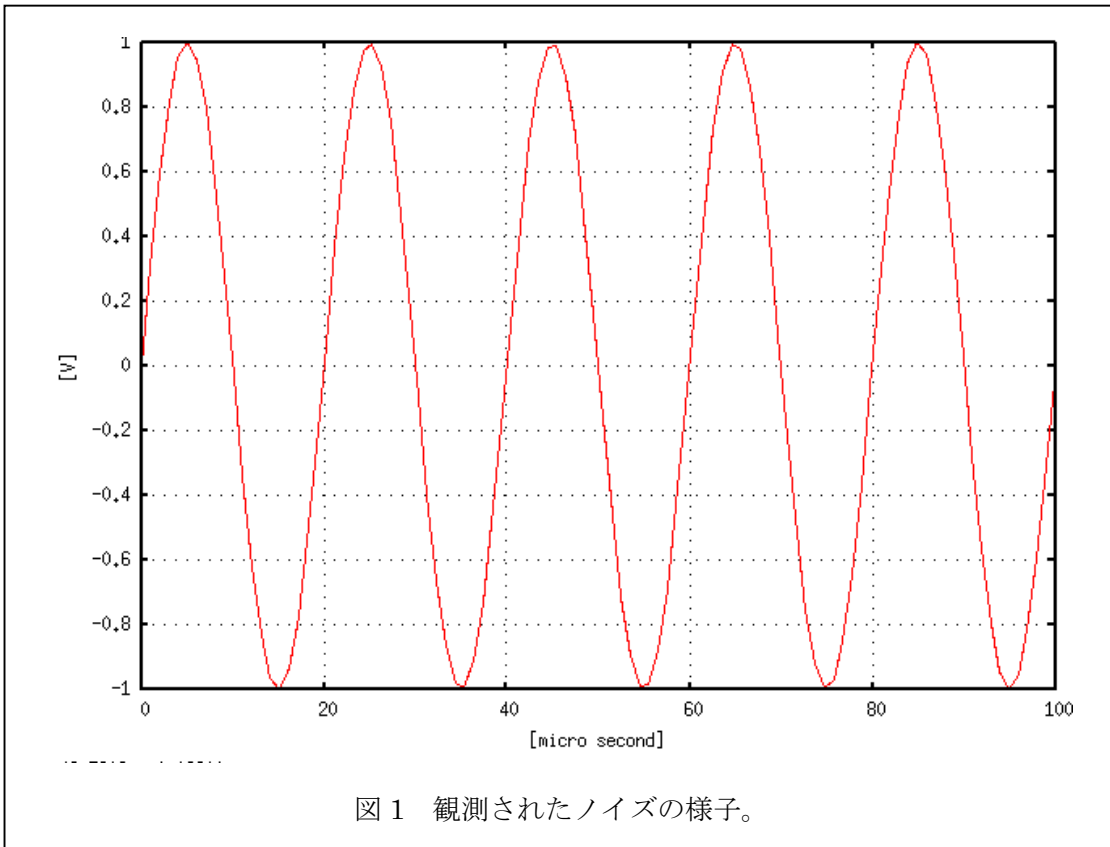
(解答例 (配点 10)) 統計誤差 10 事象(もしくは 10%)(2 点) 100 分(2 点)

上限値のみを求めるので、ポアソン分布の片側検定を使う(1 点)。0 事象、90%信頼度で 2.3 事象(1 点)。

ポアソン分布の両側検定を使う(1 点)。1 事象、90%なので、0.11~4.36 事象となる(1 点)。1 分あたりに焼直すと 0.011~0.436 事象(1 点)。1 分間の測定では、上限値 2.3 のみしか得られていないので矛盾はない(1 点)。

III 電気回路・粒子物理

1g cm^{-3} の密度を持ち、厚さ 0.5cm の検出器を、1MeV のエネルギーを得ると波高値 100mV で信号の継続時間が 10ns 程度の応答のある読出しと組み合わせて、最小電離粒子の測定を行いたい。装置を組みあげたところ、図 1 のようなノイズが観測された。信号がノイズの大きさの 10 倍以上になるようにするためには、どうしたらよいか考察せよ。



(解答例 (配点 15))

最小電離粒子のエネルギー損失を $1\text{MeV g}^{-1} \text{cm}^{-2}$ (2 点) とすると、上記の検出器では、 $1 \times 1 \times 0.5 = 0.5\text{MeV}$ となる (2 点)。波高値は 50mV 位が期待される (2 点)。

従って、ノイズは振幅 5mV 、現状の $1/200$ 以下に減少させる必要がある (2 点)。

信号の典型的な周波数 100MHz (1 点)

ノイズの典型的な周波数 50kHz (2 点)

ハイパスフィルターを用いて取り出すことができる (1 点)。ハイパスフィルターで、カットオフ周波数 (f_c) 以下では、減衰率は周波数に比例すると考えられるので、 50kHz で $1/200$ 以下に落とすためには、 $f_c > 10\text{MHz}$ 以上 (1 点) のハイパスフィルターを作ればよい $2\pi f_c = \omega \sim 1/CR$ より $f_c = 1/(2\pi CR) > 10^6$ によって CR の積が 10^{-8} 以下 (2 点) となるような組み合わせの C と R を選択すればよい。一例として、 10pF と 50Ω

「最小電離粒子を検出したい」と言っているので、粒子を変えるという観点では 0 点。