

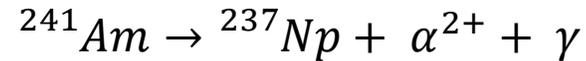
Using Alpha particle

Motivation

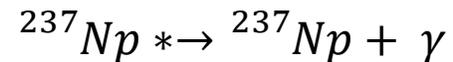
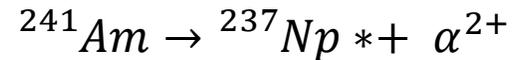
- Scintillation yield를 측정하기 위한 실험에서 가장 이상적인 입자는 Cosmic ray이다.
- 하지만 attenuation에 의한 효과를 제거하기 위해서는 사용하는 scintillator의 크기를 작게할 수밖에 없고, 이러한 경우 Cosmic ray로는 event의 frequency가 낮기 때문에 Source를 사용하여야 한다.
- 따라서 기존의 idea에서는 beta decay에서 발생하는 전자를 source로 사용하기로 하였다.
- 하지만 전자의 경우, Bethe-Bloch formula에 의해서만 에너지를 잃는 것이 아니고, 다양한 방법으로 에너지를 잃기 때문에 Scintillator에 남기는 에너지의 양을 명확히 할 수 없다는 단점이 있다.
- 따라서 alpha decay에 의해서 발생하는 alpha particle을 사용하게 되면, Source에서 나오는 alpha particle의 energy spectrum을 정확히 측정할 수 있고, spectrum을 측정한 동일한 조건에서 실험을 하게 되면 scintillator의 energy deposit을 정확하게 알 수 있다는 장점이 있기 때문에 alpha particle을 사용하였을 때의 결과를 시뮬레이션 해 보았다.

Americium

- 241-Americium은 alpha decay하는 물질로, 가장 많이 일어나는 decay equation 아래와 같다.



- 이 때, α^{2+} 의 에너지는 5.486 MeV 이고, γ 의 에너지는 0.059 MeV이다.
- 조금 더 구체적으로 반응식을 쓰면 아래와 같이 두 단계로 나타낼 수 있다.

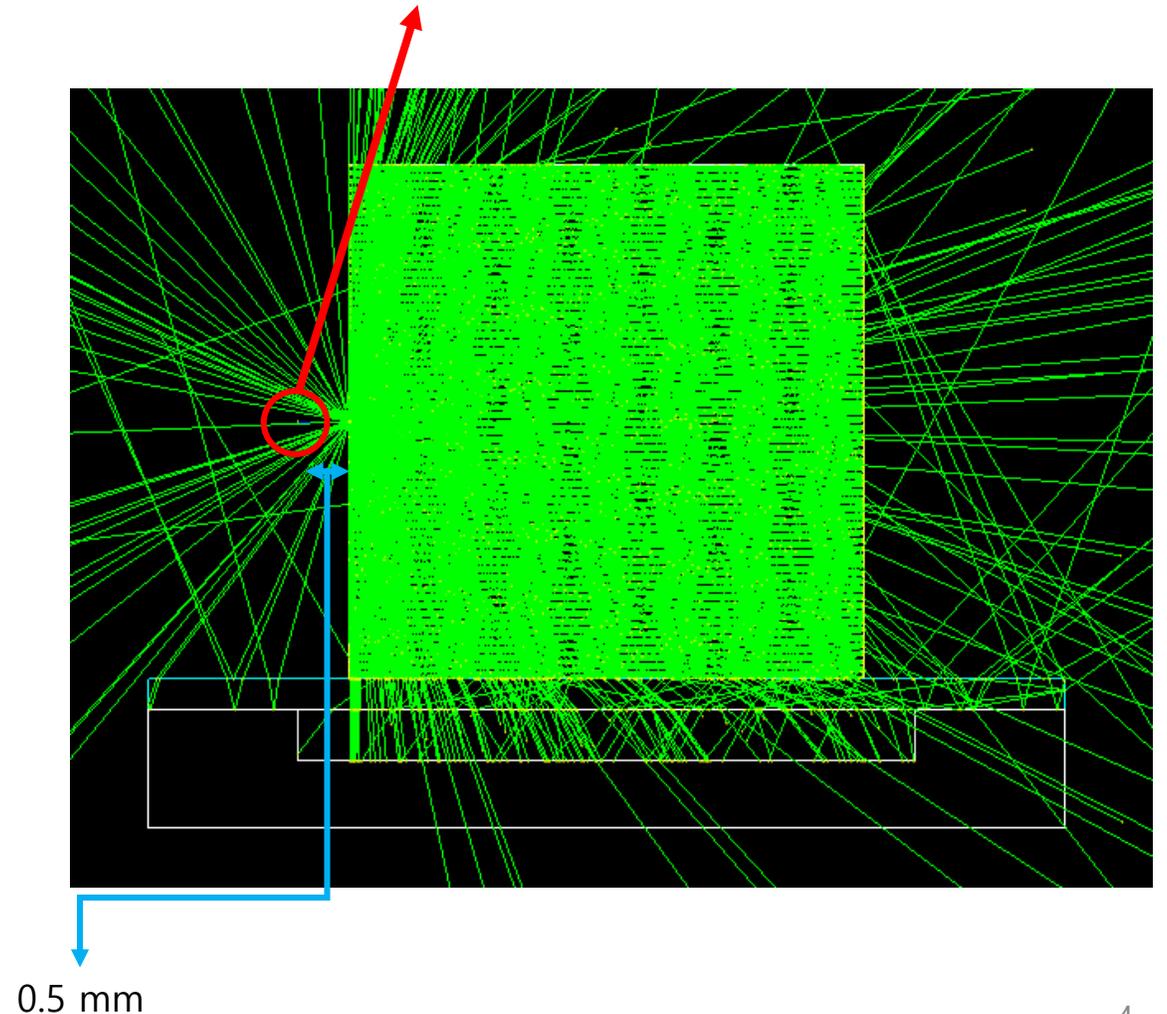


- 질문 : Recoil mass 측정?

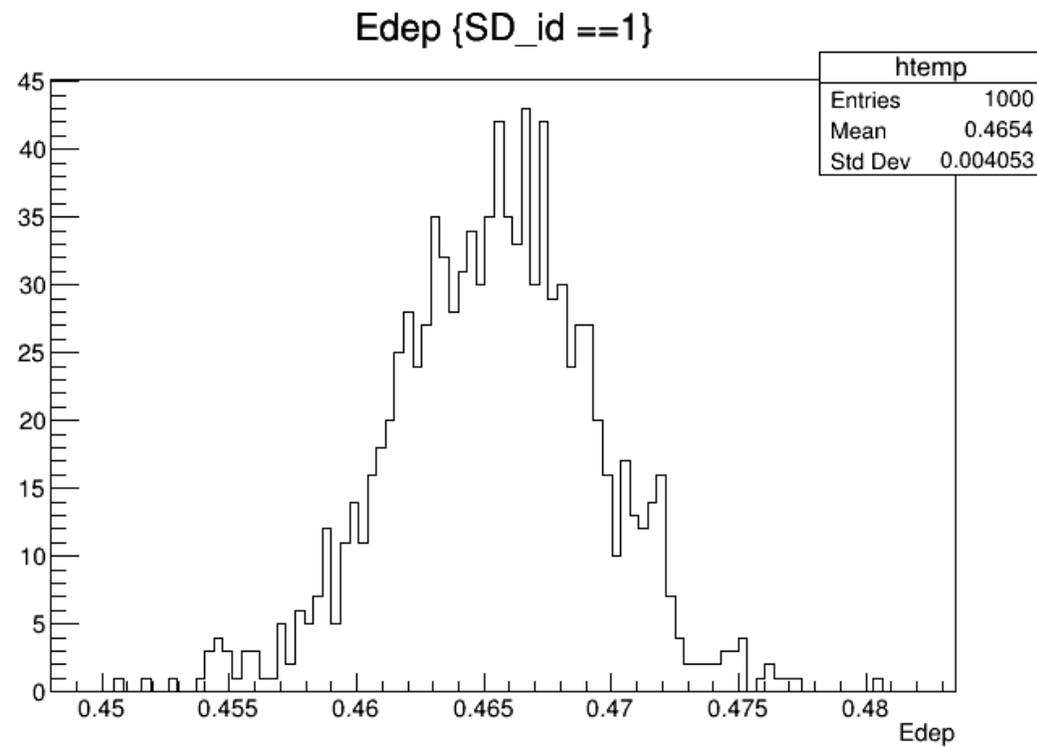
Simulation

- 실제로 실험실에 존재하는 alpha source는 241 아메리슘으로, decay 에서 발생하는 alpha particle의 kinetic energy는 5.486 MeV이다.
- 따라서 alpha particle을 scintillator에서 0.5 mm 떨어진 위치에서 수직으로 입사시켰을 때의 결과를 살펴보았다.
- 이 때, aluminum mylar가 있을 경우 alpha particle이 aluminum mylar를 통과하지 못하므로, scintillator만 두고 시뮬레이션을 진행하였다.
- 오른쪽의 그림은 simulation을 visualization 시킨 결과이다.

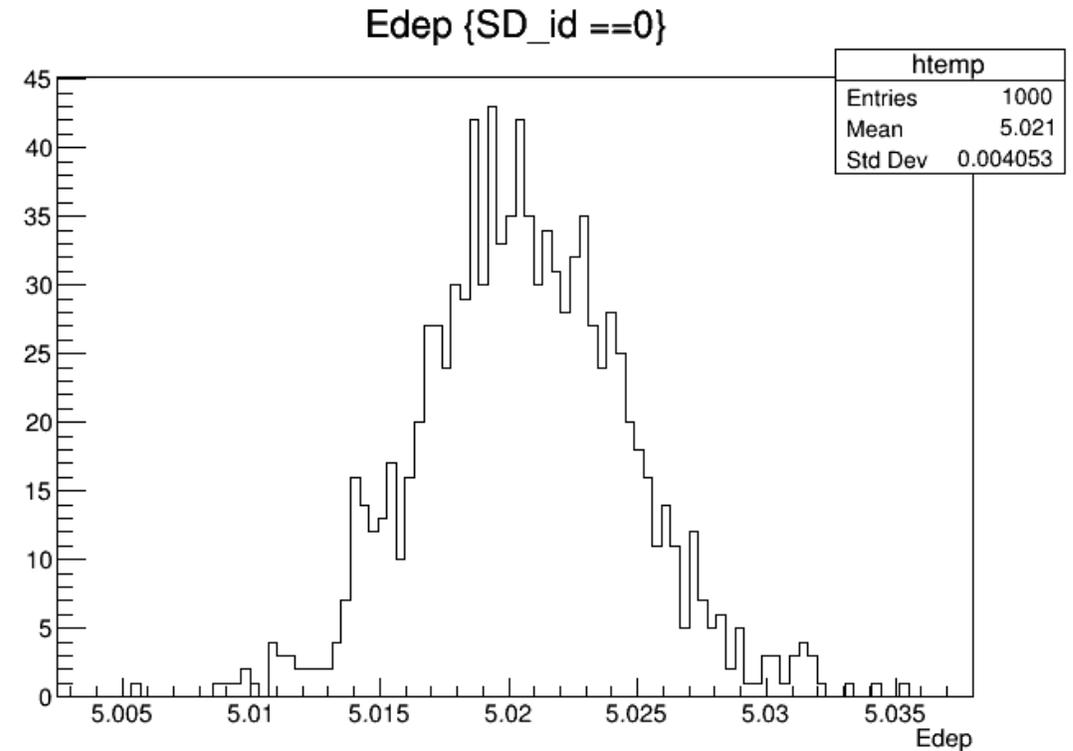
Alpha particle
- Kinetic energy = 5.486 MeV
(241 Americium)
Incident direction = normal



Result

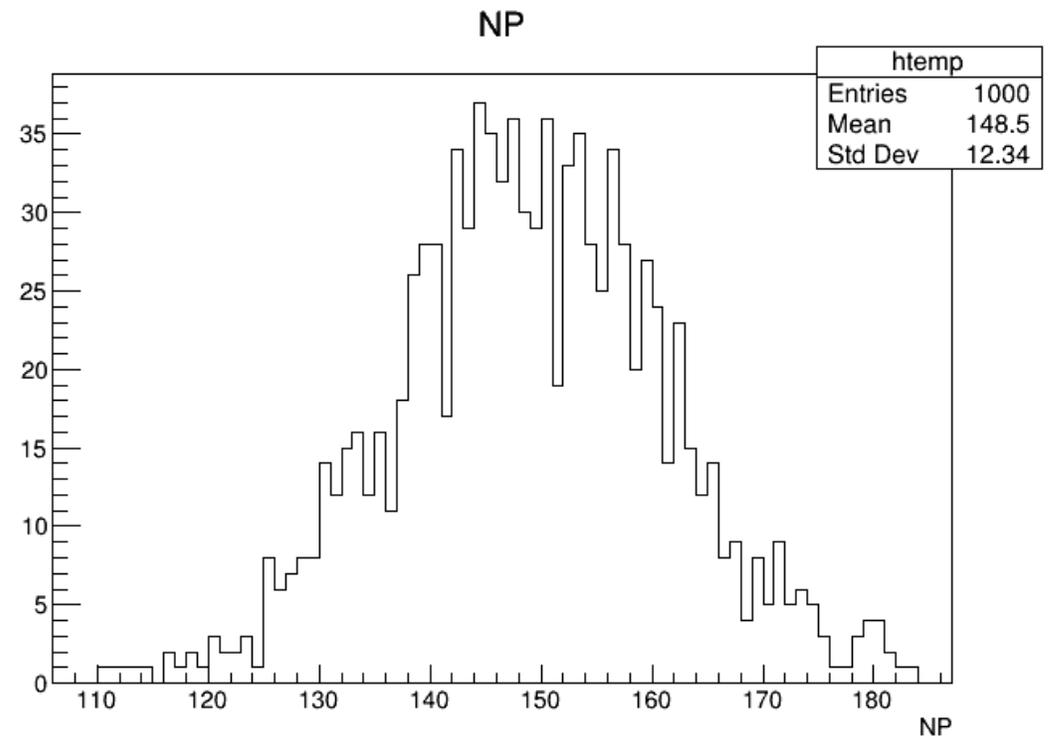
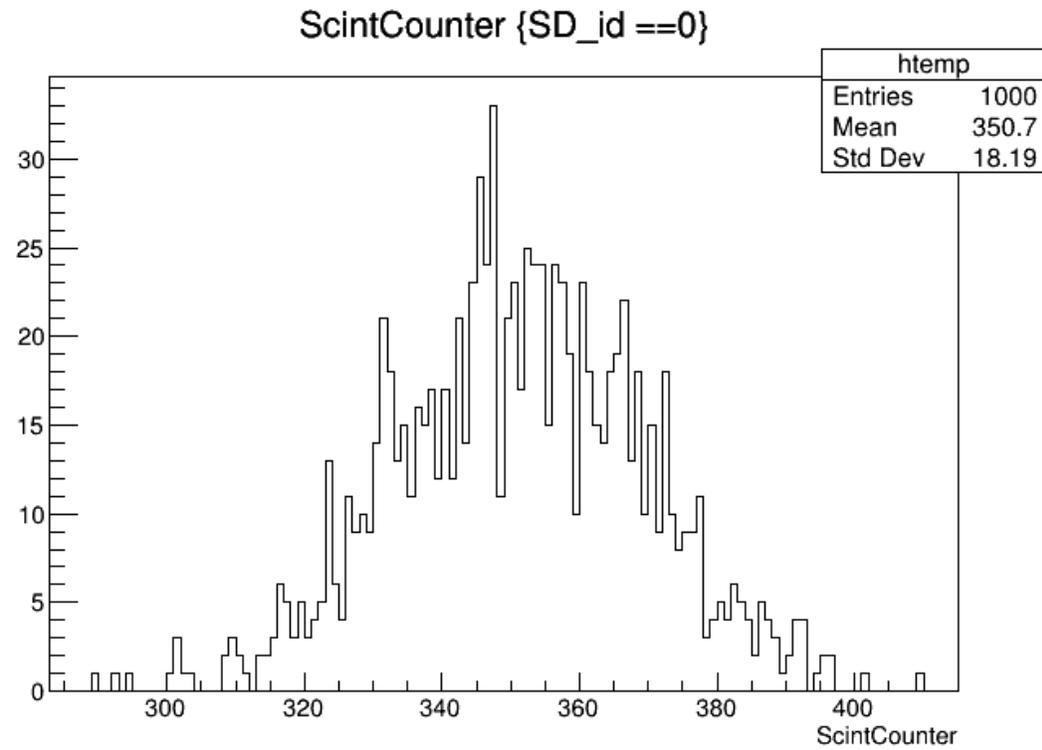


Energy deposit on Air

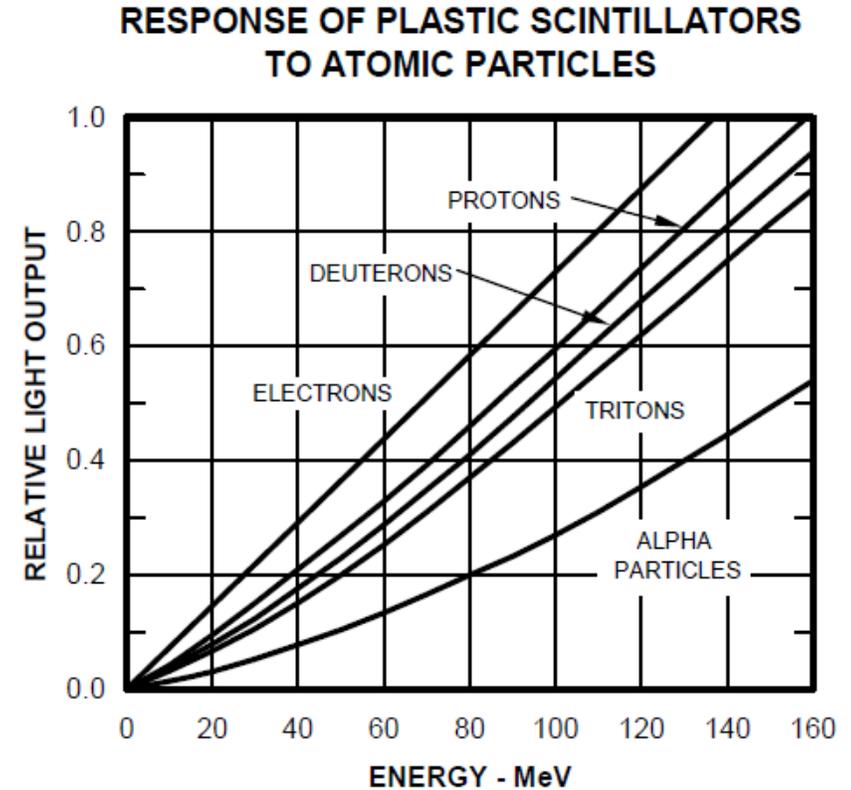
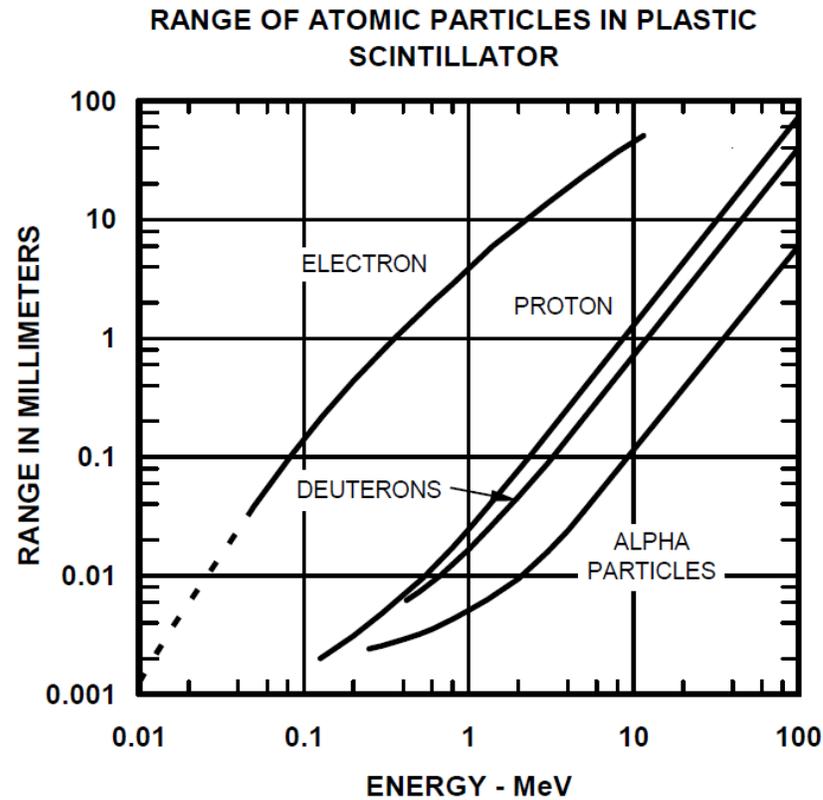


Energy deposit on scintillator

Result



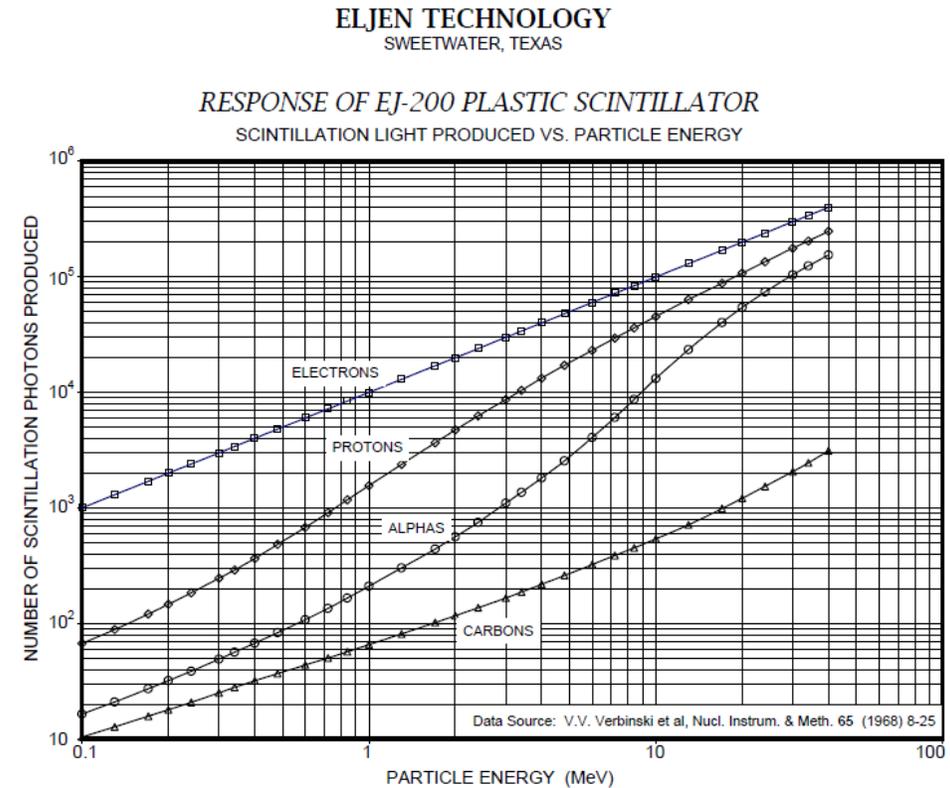
Scintillation process on particles



Reference : Technical note in Eljen technology

Scintillation process on particles

- 7페이지의 왼쪽 그래프로부터, alpha particle은 투과력이 작기 때문에 단위 길이당 energy deposit이 매우 크다는 것을 확인할 수 있다.
- 또한 Scintillation process에서 light yield는 단순히 energy deposit에 비례하는 것이 아니라 입자의 종류에 따라 Light yield가 변한다는 것을 확인할 수 있다.



Reference : Technical note in Eljen technology

Birks' Law

- scintillation photon의 수는 charged particle이 Scintillator를 통과하면서 남긴 energy deposit에 비례한다.
- 하지만, 짧은 path length에 deposit 된 에너지의 양이 매우 클 경우, Saturation에 의해 quenched 되고 이 때 Empirical formula인 Birks' law를 따르게 된다.

$$\frac{dL}{dx} = S \frac{\frac{dE}{dx}}{1 + k_B \frac{dE}{dx}}$$

- 이 때, S는 Scintillation Efficiency, k_B 는 Birks' constant이다.
- Polystyrene-based scintillator의 경우 0.126 mm/MeV이고 polyvinyltoluene-based scintillator의 경우 $1.26 \times 10^{-2} \sim 2.07 \times 10^{-2} \text{ g/MeVcm}^2$ 으로 그 값이 알려져있다.
- 따라서 앞의 simulation은 Birks' constant를 바탕으로 계산하여 Scintillation photon을 만들었음을 알 수 있다.

Scintillation Efficiency

- Scintillation Efficiency란, Energy deposit에 대한 scintillation photon의 에너지 비이다. 수식으로 쓰면 아래와 같이 나타난다.

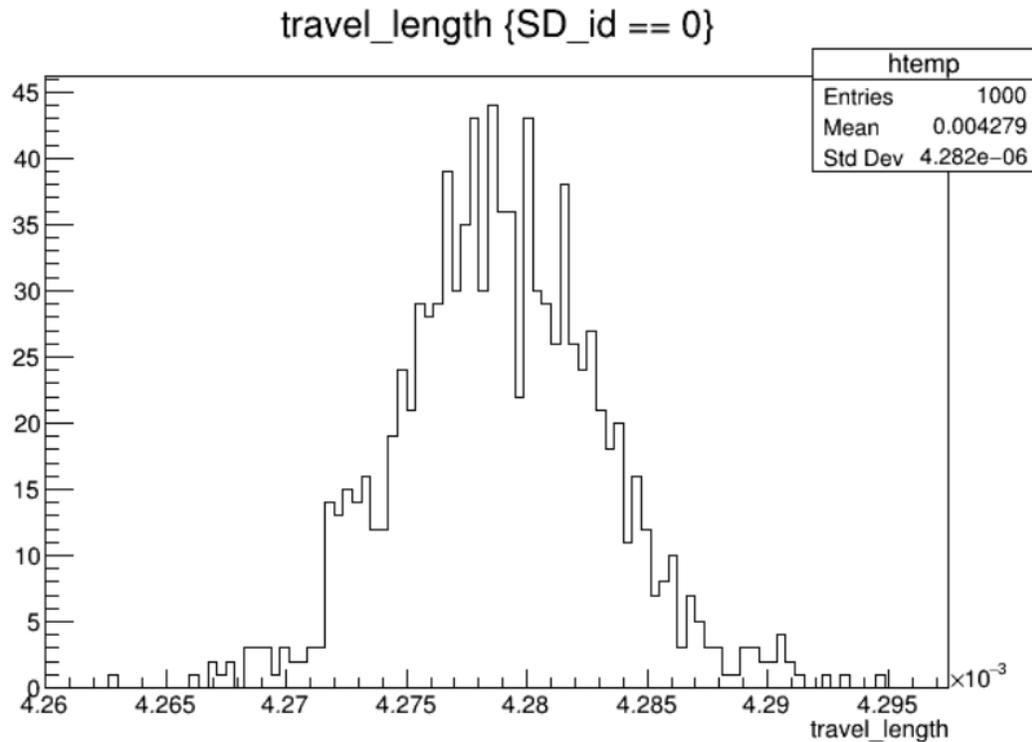
$$\text{Scintillation efficiency} = \frac{\text{Energy of scintillation photons}}{\text{Energy deposit}}$$

- 재흡수를 고려하지 않을 때, scintillation efficiency는 0.062 정도로 알려져 있고, 재흡수를 고려했을 때 scintillation efficiency는 0.05로 알려져 있다.(참고문헌 : Absolute Scintillation efficiency of Anthracene crystals)

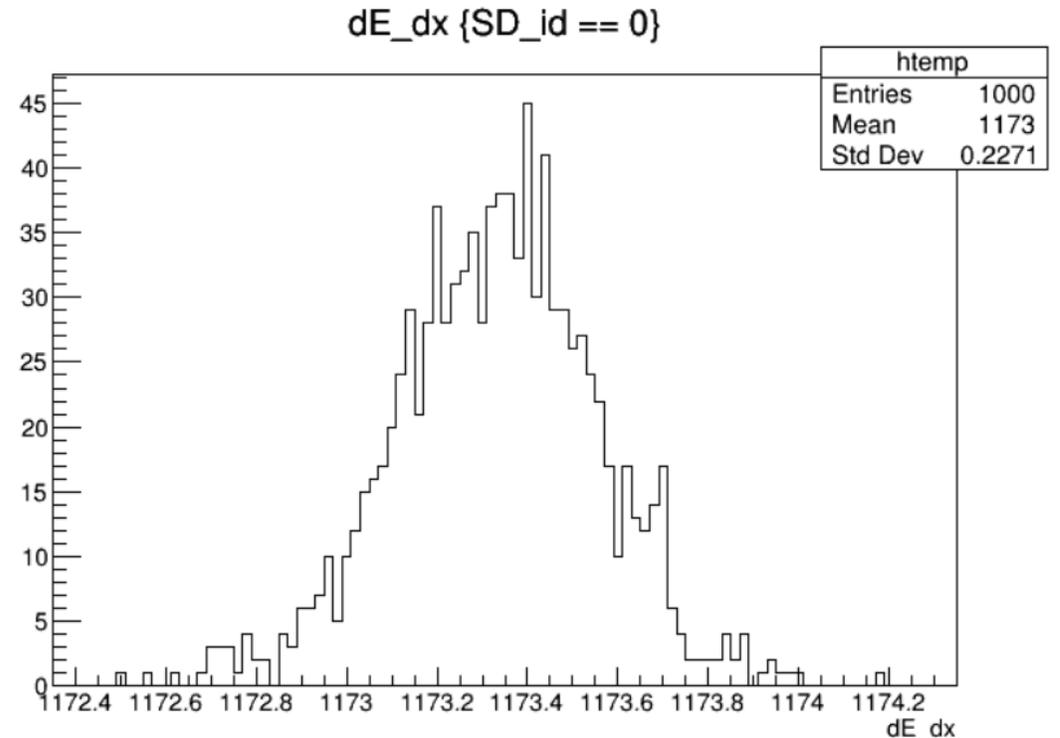
Paper Review

- The name of paper
 - Plastic scintillator investigations for relative dosimetry in proton-therapy >> Information about Birks' Constant for polyvinyltoluene.
- Parameter
 - Scintillator used : BC 400 (polyvinyltoluene-based)
 - Density = 1.032 g/cm³
 - Light yield = 65% (with respect to anthracene)
 - $k_B = 2.07 \times 10^{-2} \text{ g/MeVcm}^2 = 0.207 \text{ mm/MeV}$ (fitting result)
 - Condition for quenching : $dE/dx > 3 \text{ MeV/mm}$
 - Significant Luminescence yield reduction : 1kGy

Simulation result



Travel length in scintillator



Energy deposit per travel length in scintillator

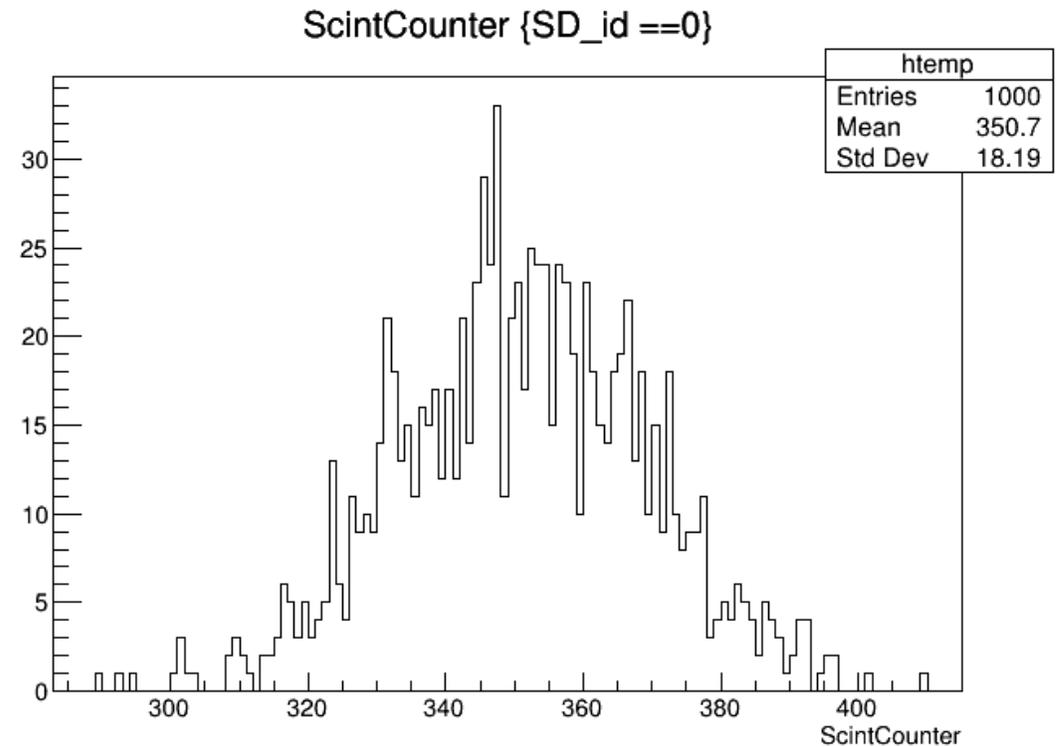
Even though for small k_B , dE/dx is large enough to make quenching effect.

Simulation result

- Calculate total light yield

$$\bullet L = \int \frac{dL}{dx} dx = \int \frac{S \frac{dE}{dx}}{1 + \frac{k_B dE}{dx}} dx =$$

$$\bullet 10000 * \frac{1173}{1 + 0.121 * 1173} =$$



Craun-Birk's theory

$$\bullet \frac{dL}{dx} = S \frac{\frac{dE}{dx}}{1 + k_B \frac{dE}{dx} + C \left(\frac{dE}{dx}\right)^2}$$