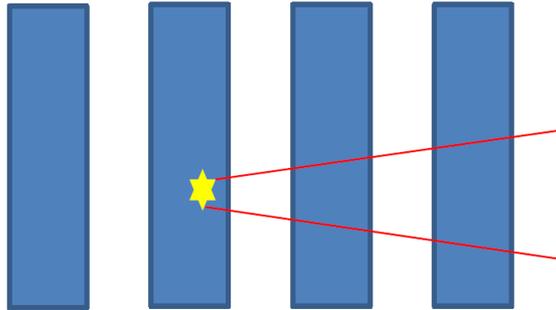


# Neutron Detector Simulation

2014 / 02 / 02



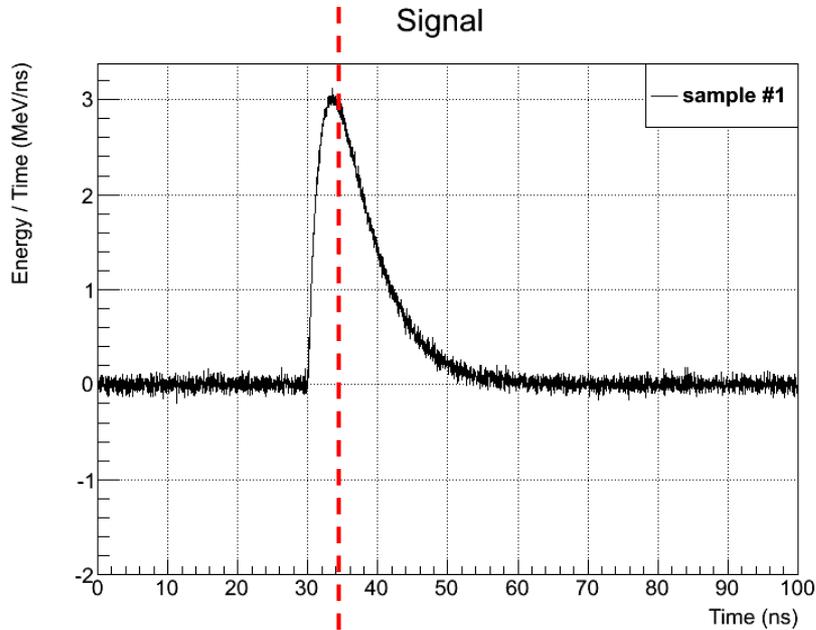
Korea University  
Nuclear Physics Lab.  
BumGon Kim

# Signal Simulation

## ❖ Resolution

- 각각의 bar detector 에 대하여,
- **Time Resolution : 0.3 ns = 300 ps**
- **Position Resolution : 6 cm = 60 mm**
- 위 범위 내에 들어온 hit 들이 남긴 energy 의 합을 signal 의 형태로 generate 한다.
  - 이때, **signal 의 hitTime** 은 hit 들이 남긴 energy 의 합이 **Threshold Value(10 MeV) 를 넘긴 순간의 시간**으로 정한다.
  - **Signal hitTime** 은 실제 실험에서 측정되는 **detector hitTime** 에 해당된다.

# Signal Simulation Example



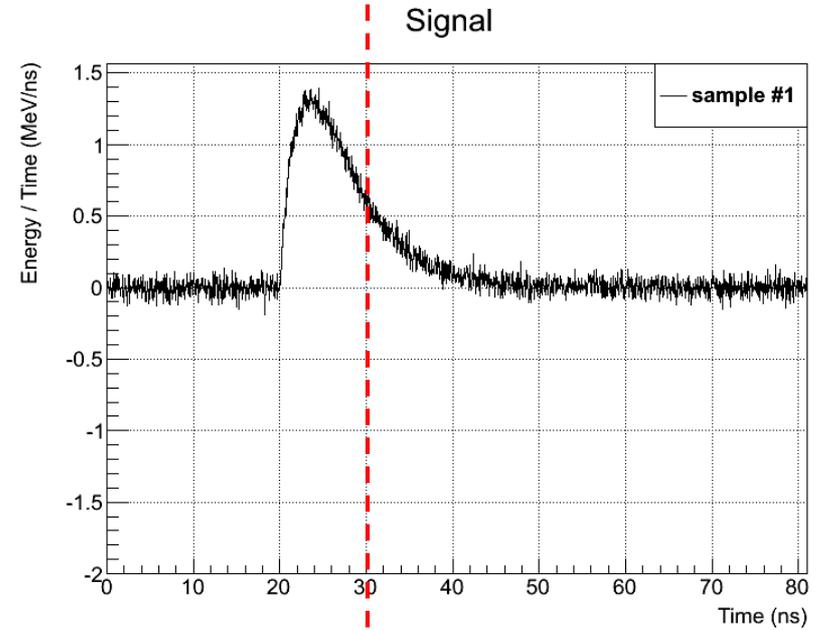
Total energy deposit : 30 MeV

Threshold : 10 MeV

**1<sup>st</sup> hitTime : 30 ns**

**Signal hitTime : 34.2773 ns**

**(Signal hitTime) – (1<sup>st</sup> hitTime) = 4.2773 ns**



Total energy deposit : 13 MeV

Threshold : 10 MeV

**1<sup>st</sup> hitTime : 20 ns**

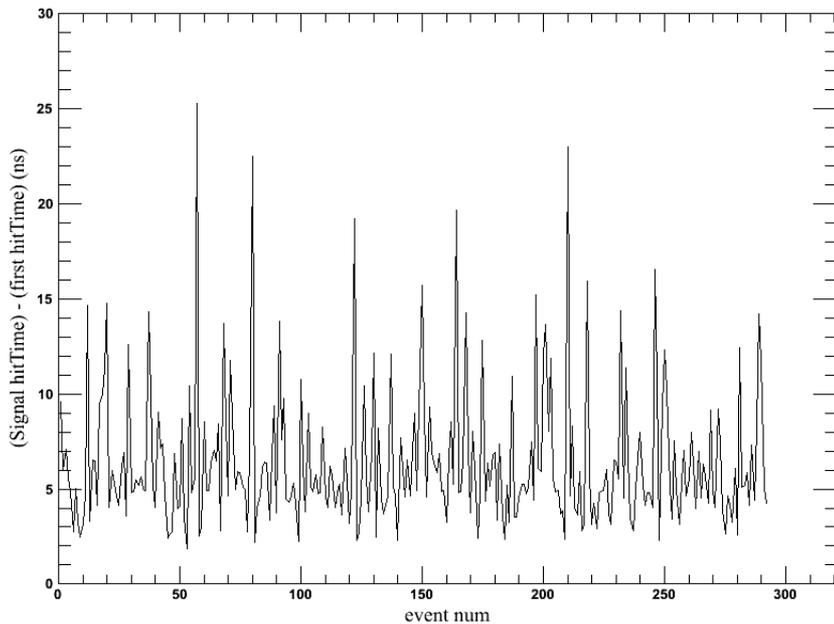
**Signal hitTime : 30.3354 ns**

**(Signal hitTime) – (1<sup>st</sup> hitTime) = 10.3354 ns**

# Average $\Delta t = (\text{Signal hitTime}) - (1^{\text{st}} \text{ hitTime})$

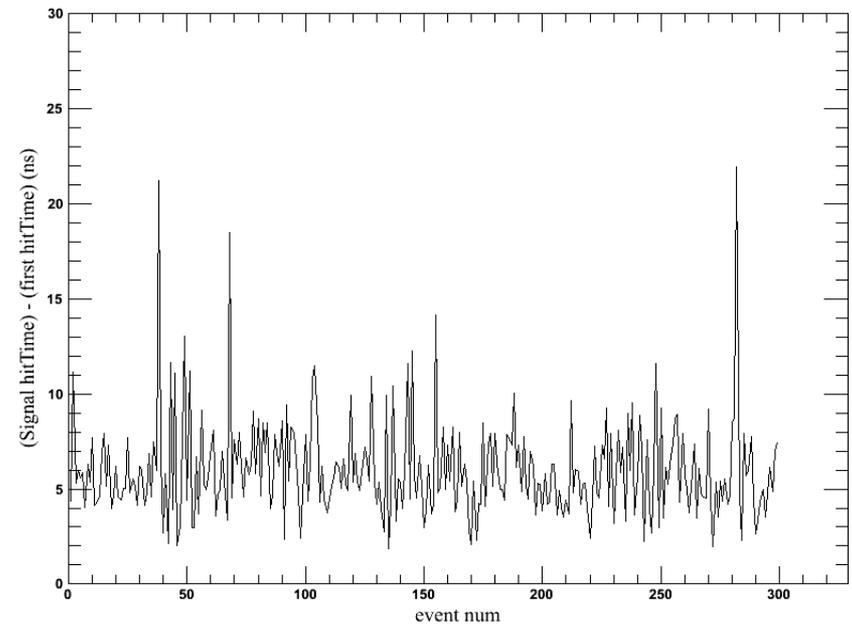
- The number of events at least 1 signal  $\approx 6000$  events
- Gap between the stacks : 40 cm

Neutron energy : 140 MeV



(Avg.  $\Delta t$ ) = 6.24057 ns

Neutron energy : 300 MeV

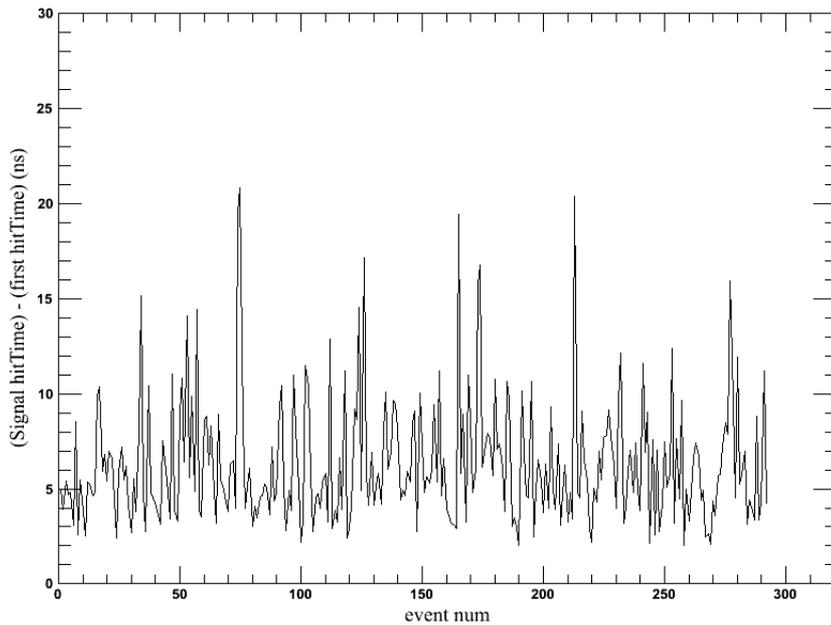


(Avg.  $\Delta t$ ) = 6.00334 ns

# Average $\Delta t = (\text{Signal hitTime}) - (1^{\text{st}} \text{ hitTime})$

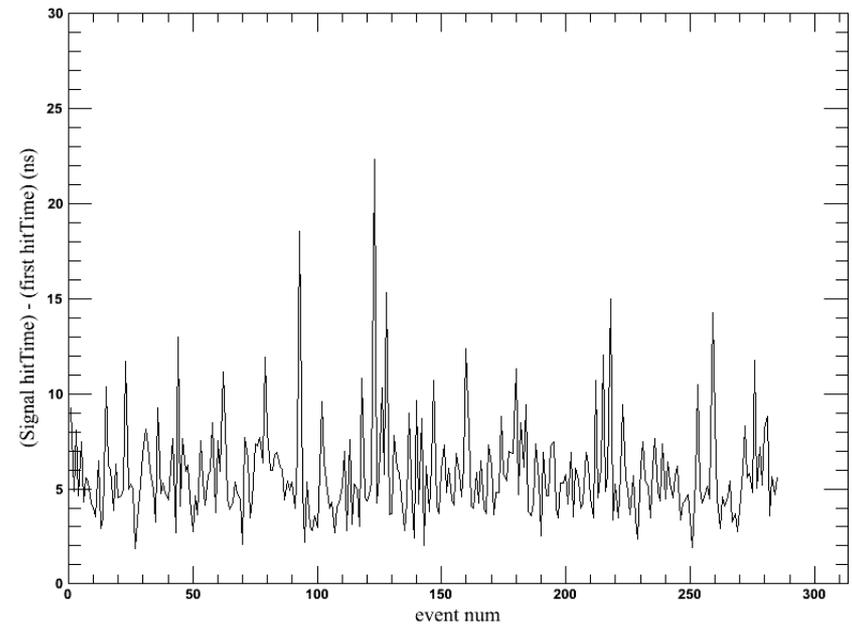
- The number of events at least 1 signal  $\approx 6000$  events
- Gap between the stacks : 60 cm

Neutron energy : 140 MeV



(Avg.  $\Delta t$ ) = 6.16278 ns

Neutron energy : 300 MeV



(Avg.  $\Delta t$ ) = 5.93328 ns

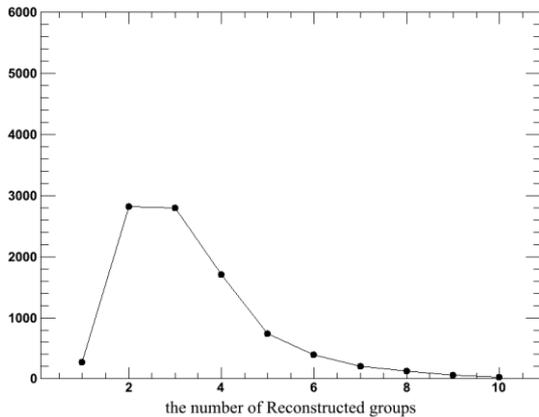
# Separation Efficiency Using Signal Simulation

- 1개의 중성자가 발사되었을 때, detector에 1개 이상의 signal을 남길 확률 : 약 60 %
- 따라서, 2개의 중성자가 발사되었을 경우, 두 중성자 모두가 detector에 1개 이상의 signal을 남길 확률 : 약 36 %
- 300 MeV 중성자 2개를 일정 거리만큼 떨어뜨려서 10000 쌍 발생.
- Signal 의 시간 및 위치 정보 수집.
- 속도 조건, 시간 조건, 위치 조건을 이용하여, signal 들을 group 으로 분류.
  - ✓ **group : 같은 중성자에 의해 남겨진 것으로 추정되는 hit 들의 모임**
  - ✓ **(만들어진 Group 의 개수) = (algorithm 이 추정하는 발사된 중성자의 개수)**

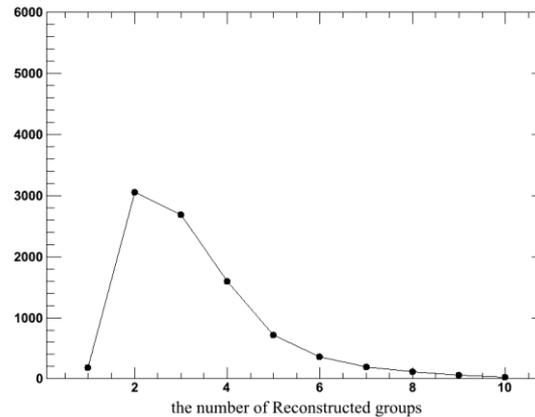
# Separation Efficiency Using Signal Simulation

- ❖ Stack 간 gap 이 40 cm 일때, 두 중성자 **모두가 1개 이상의 signal** 을 남긴 경우, Simulation 에서 algorithm 에 의해 추정된, 발사된 중성자의 개수

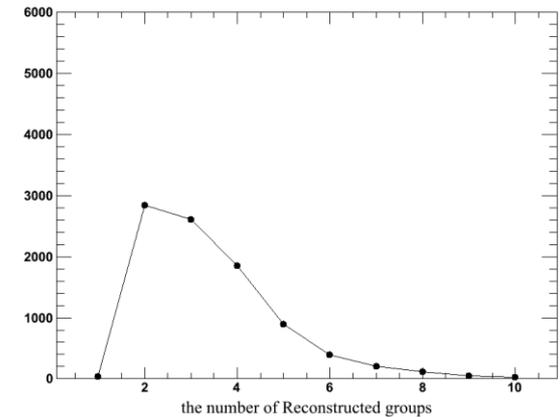
발사 위치 간격이 10 cm 일 때



발사 위치 간격이 40 cm 일 때



발사 위치 간격이 100 cm 일 때



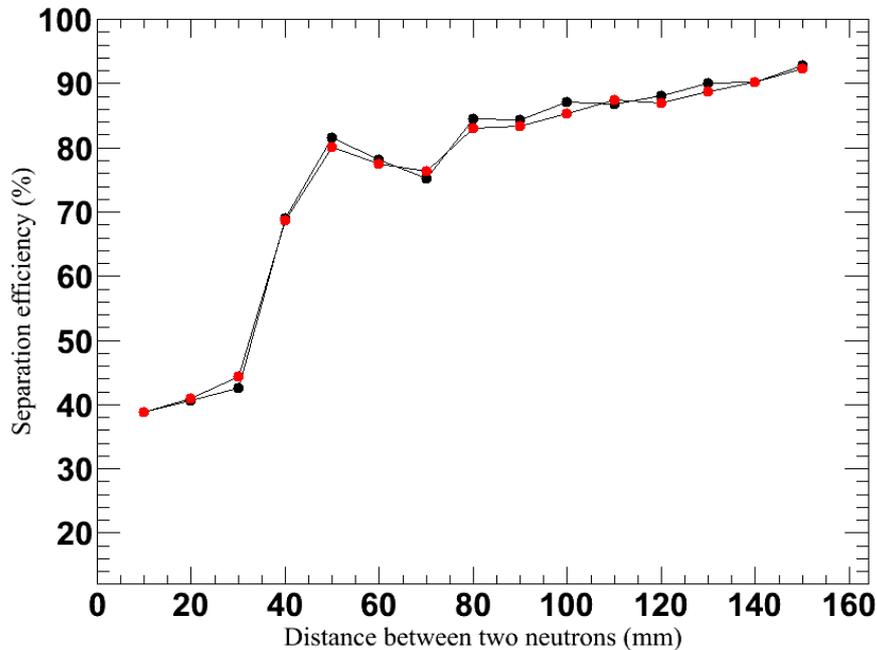
- ✓ 두 중성자 모두가 1개 이상의 signal 을 남기는 event pair 를 10000 개 generate.
- ✓ Event pairs 중 임의로 하나를 선택하여 algorithm 을 적용하였을 때, **algorithm 을 통한 reconstructed incident neutron 개수가 generated incident neutron 개수와 일치(2개)**할 확률 : 약 **30 %**

# Separation Efficiency Using Signal Simulation

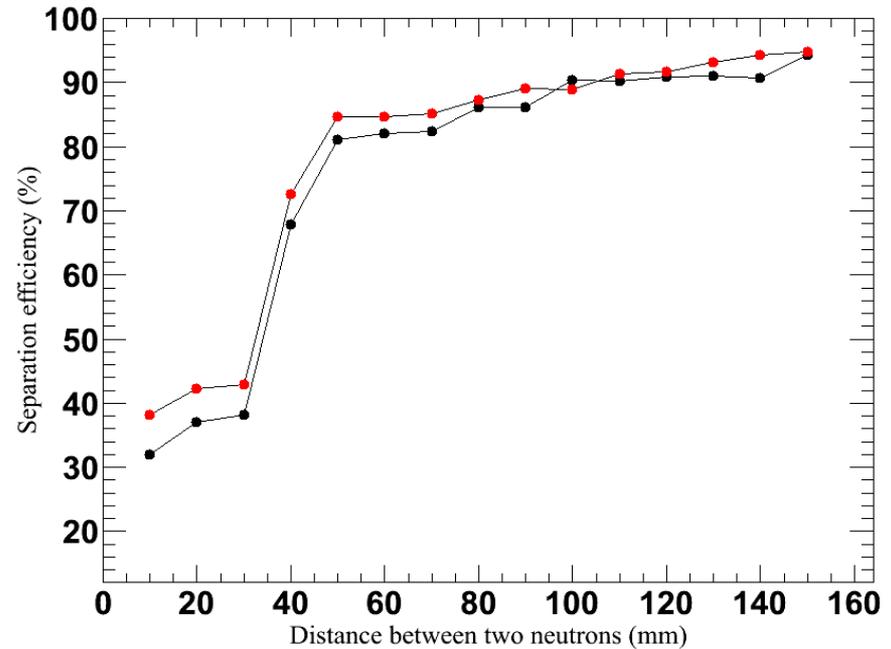
- **Separation Efficiency (for two incident neutrons case)**

- Algorithm 을 적용하여 만들어진 group 의 개수가 incident neutron 의 개수와 같은 경우(2개)에 대하여,
- 각 group 에 속한 signal 들이 모두 같은 중성자에 의해 남겨진 signal 인가?
- 각 group 은 모두 서로 다른 중성자에 의해 남겨진 signal 들의 모임인가?
- 위 2 가지 조건들을 만족한 경우, 중성자들을 올바르게 분류한 것으로 간주.

Without Signal Simulation Case



With Signal Simulation Case



Black : 40 cm gap  
Red : 60 cm gap

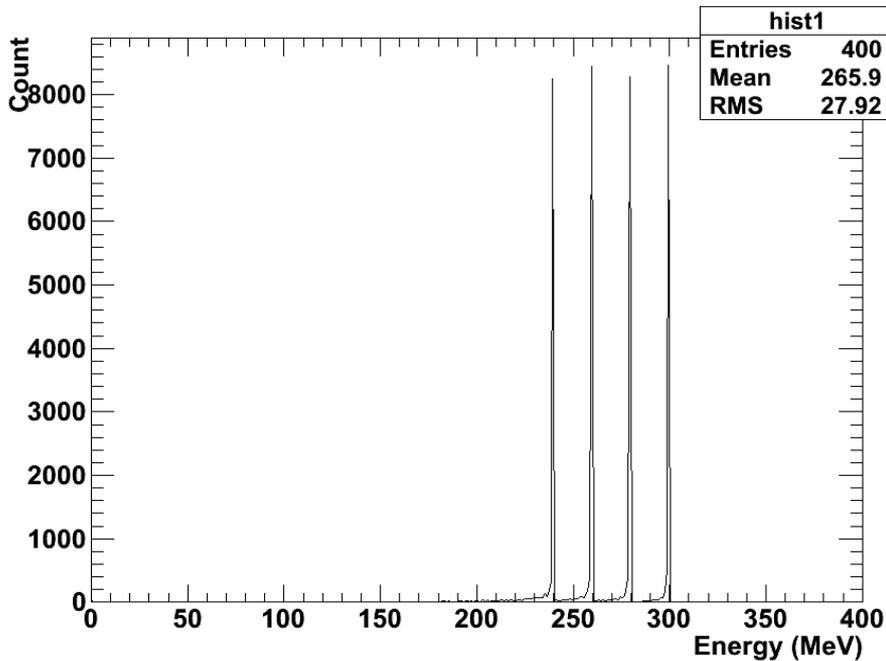
# Two Neutron Efficiency Using Signal Simulation

- ❖ 두 개의 중성자가 동시에 detector system 을 통과하였을 때, detector system 이 2개의 중성자가 통과하였다는 판단을 올바르게 내릴 확률
  - ✓ (두 중성자가 모두 최소 1개의 signal 을 만들어낼 확률) = 약 36 %
  - ✓ (위 조건하에 signal 들을 남긴 중성자의 개수가 2개라고 판단할 확률) = 약 30 %
  - ✓ (위의 두 조건을 모두 만족했을 때, 각각의 signal 들을 올바르게 분류할 확률) = 입사하는 두 중성자 간의 거리가 40 cm 이상일 때 평균적으로 약 85 %
- ❖ 종합하면, detector system 을 통과하기 전의 두 중성자 간의 거리가 40 cm 이상인 경우, 약 9 %의 확률로 완벽하게 구분할 수 있다.

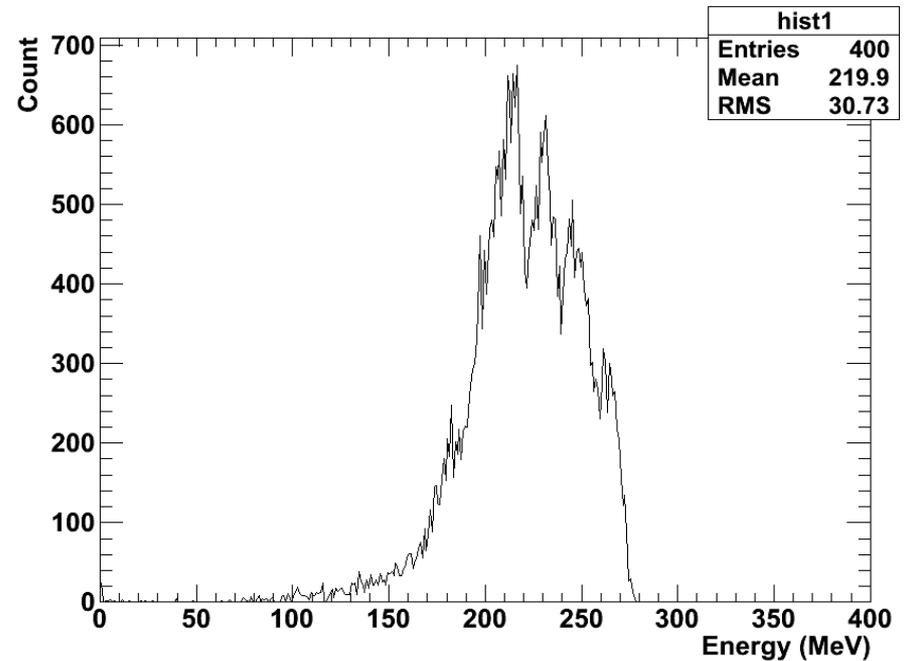
# Neutron Energy Reconstruction with E = 240, 260, 280, 300 MeV

- Neutron kinetic energy =  $E - E_0 = (\gamma - 1)M_n$  ( $M_n \approx 939.5656 \text{ MeV}/c^2$ ,  $c = 1$ )
- $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-v^2}} = \frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{L}{\tau}\right)^2}}$
- Gap : 40 cm

$\tau = 1^{\text{st}}$  hitTime Case



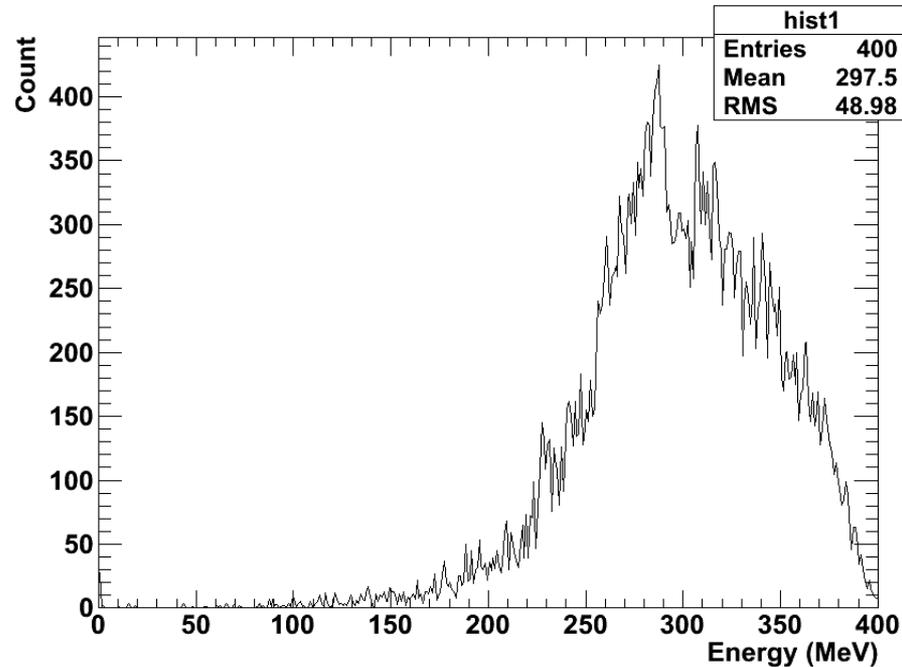
$\tau = \text{signal hitTime Case}$



# Neutron Energy Reconstruction with E = 240, 260, 280, 300 MeV

- Signal hitTime 과 1<sup>st</sup> hitTime 의 차이의 평균값이 약 6 ns 임을 이용하면,

$$\tau = \text{signal hitTime} - 6 \text{ ns Case}$$



- 중성자의 energy 를 reconstruct 하기 위한 algorithm 이 필요하다.

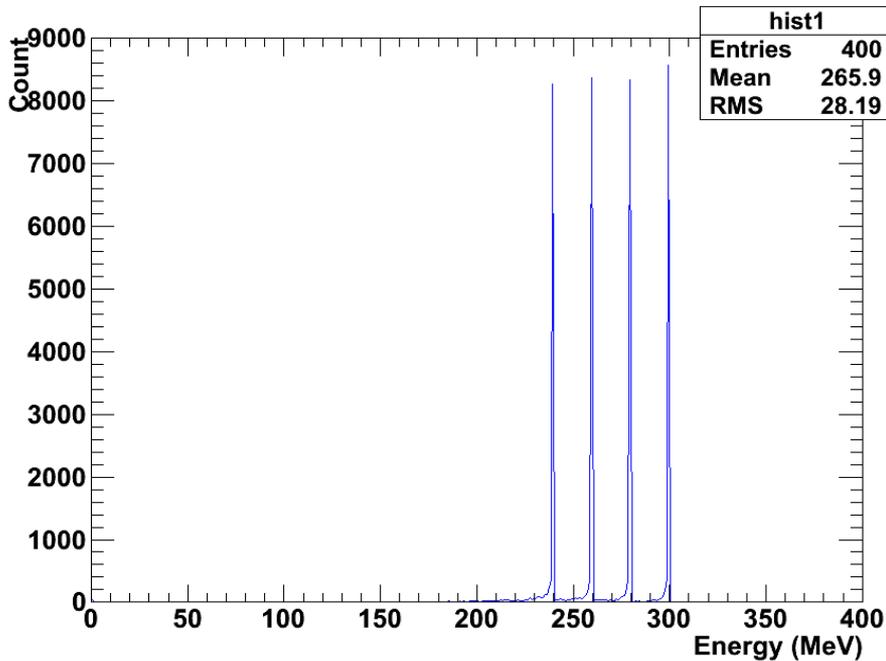




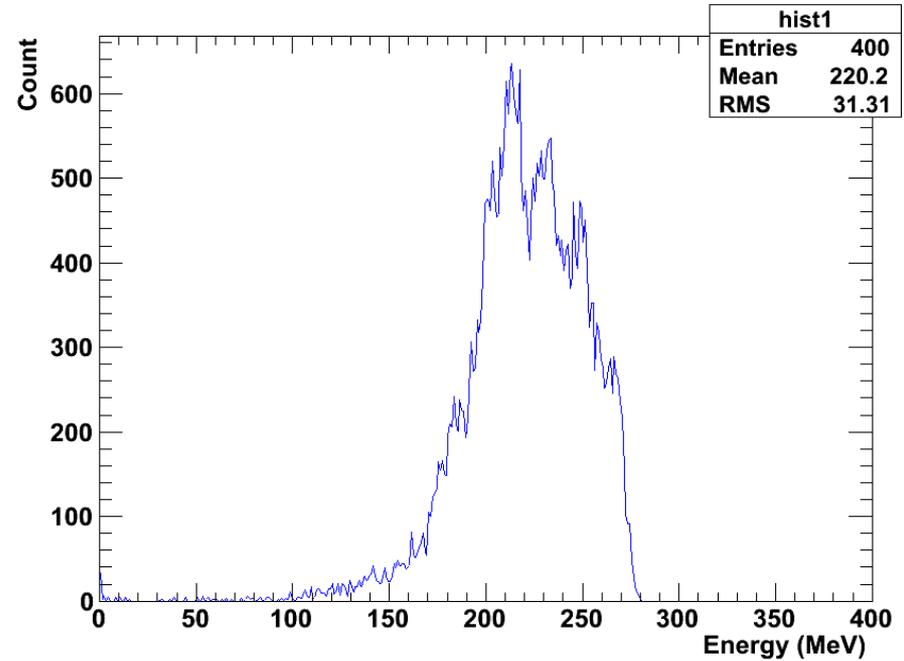
# Neutron Energy Reconstruction with $E = 240, 260, 280, 300$ MeV

- Neutron kinetic energy =  $E - E_0 = (\gamma - 1)M_n$  ( $M_n \approx 939.5656$  MeV/ $c^2$ ,  $c = 1$ )
- $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-v^2}} = \frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{L}{\tau}\right)^2}}$
- Gap : 60 cm

$\tau = 1^{\text{st}}$  hitTime Case

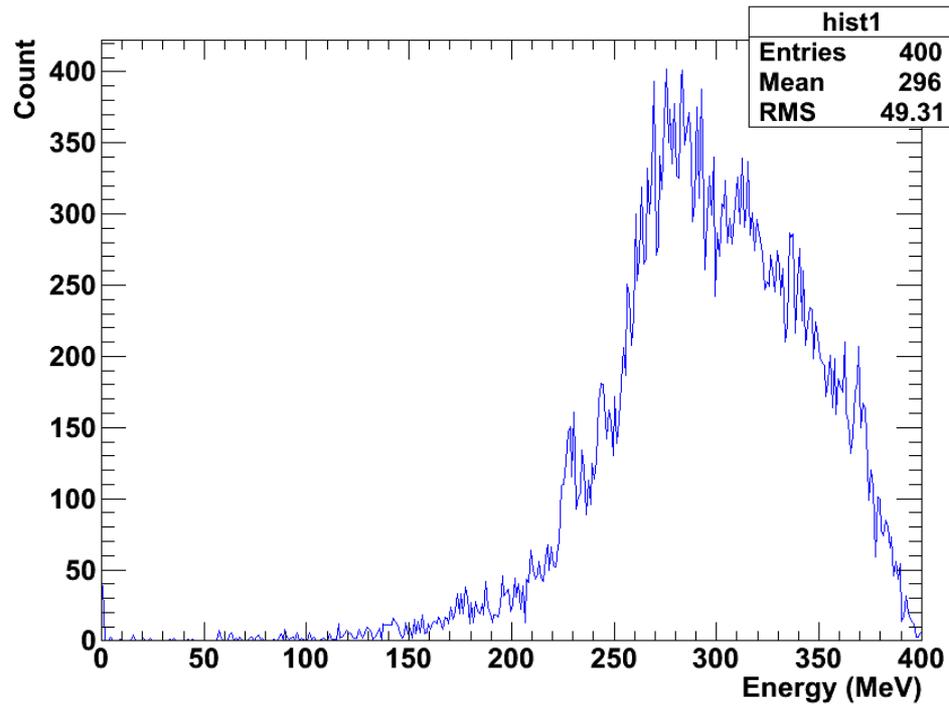


$\tau = \text{signal hitTime Case}$



# Neutron Energy Reconstruction with $E = 240, 260, 280, 300$ MeV

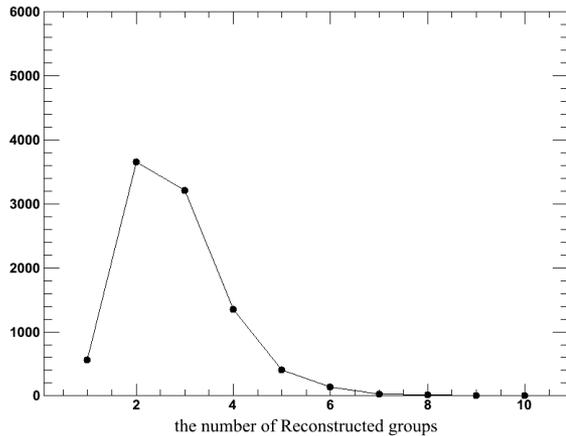
$\tau = \text{signal hitTime} - 6 \text{ ns Case}$



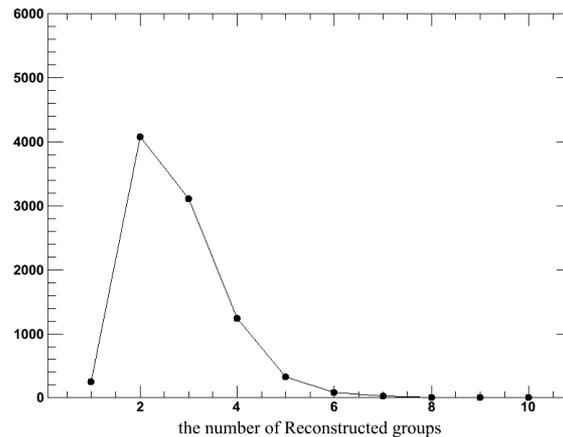
# Separation Efficiency without Signal Simulation

- ❖ Stack 간 gap 이 40 cm 일때, 두 중성자 **모두가 1개 이상의 signal** 을 남긴 경우, Simulation 에서 algorithm 에 의해 추정된, 발사된 중성자의 개수

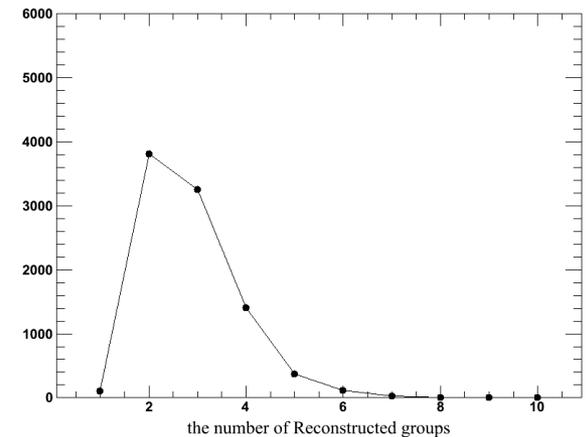
발사 위치 간격이 10 cm 일 때



발사 위치 간격이 40 cm 일 때



발사 위치 간격이 100 cm 일 때



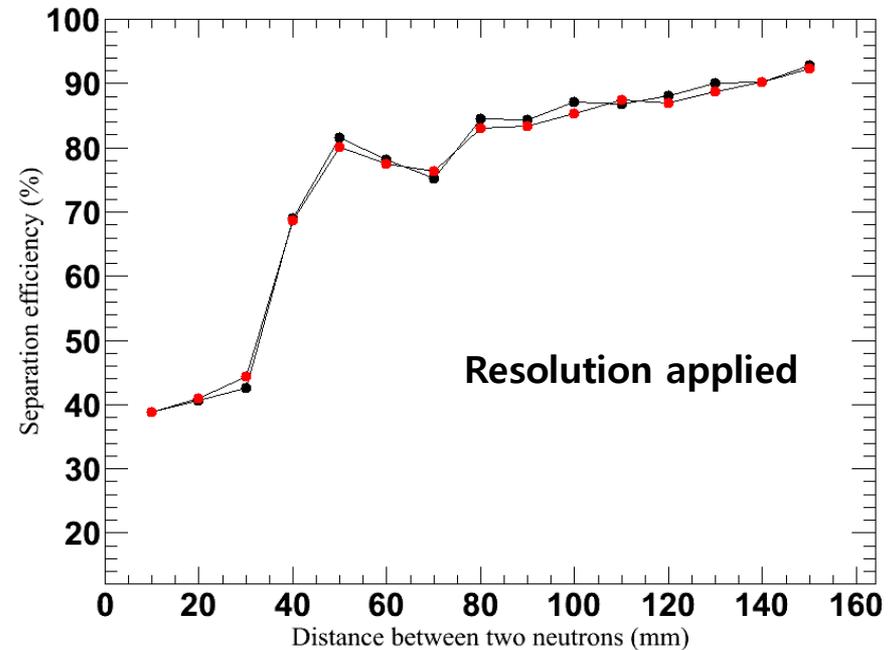
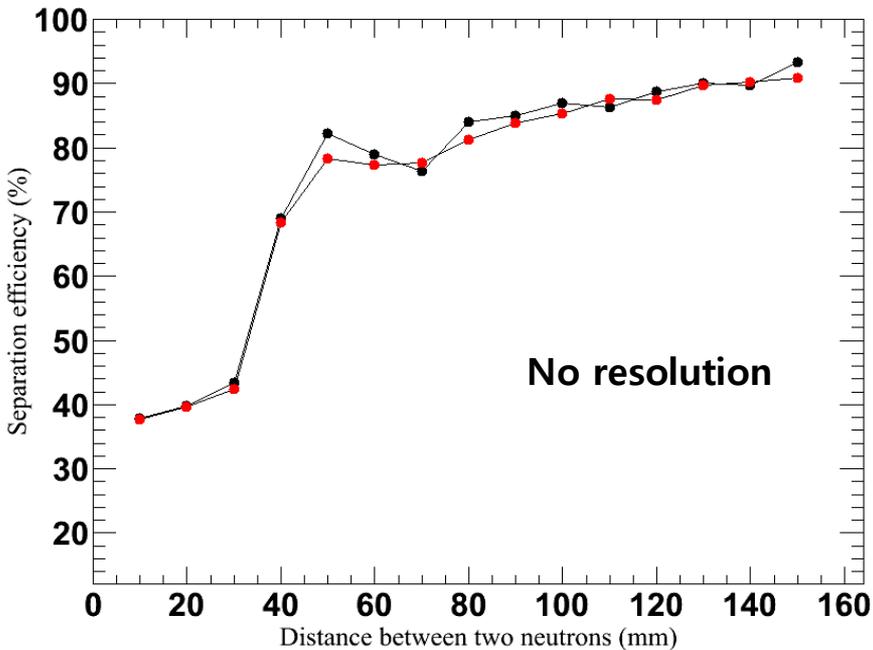
- ✓ 두 중성자 모두가 1개 이상의 signal 을 남기는 event pair 를 10000 개 generate.
- ✓ Event pairs 중 임의로 하나를 선택하여 algorithm 을 적용하였을 때, algorithm 을 통한 reconstructed incident neutron 개수가 generated incident neutron 개수와 일치(2개)할 확률 : 약 40 %

# Separation Efficiency without Signal Simulation

## Separation Efficiency (for two incident neutrons case)

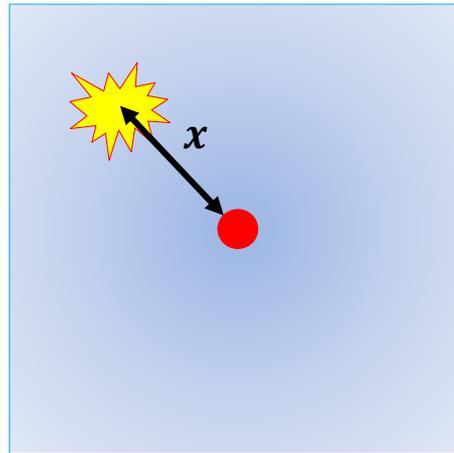
- Algorithm 을 적용하여 만들어진 group 의 개수가 incident neutron 의 개수와 같은 경우(2개)에 대하여,
- 각 group 에 속한 signal 들이 모두 같은 중성자에 의해 남겨진 signal 인가?
- 각 group 은 모두 서로 다른 중성자에 의해 남겨진 signal 들의 모임인가?
- 위 2 가지 조건들을 만족한 경우, 중성자들을 올바르게 분류한 것으로 간주.

**Black : 40 cm gap**  
**Red : 60 cm gap**



## IV. Geometric Condition

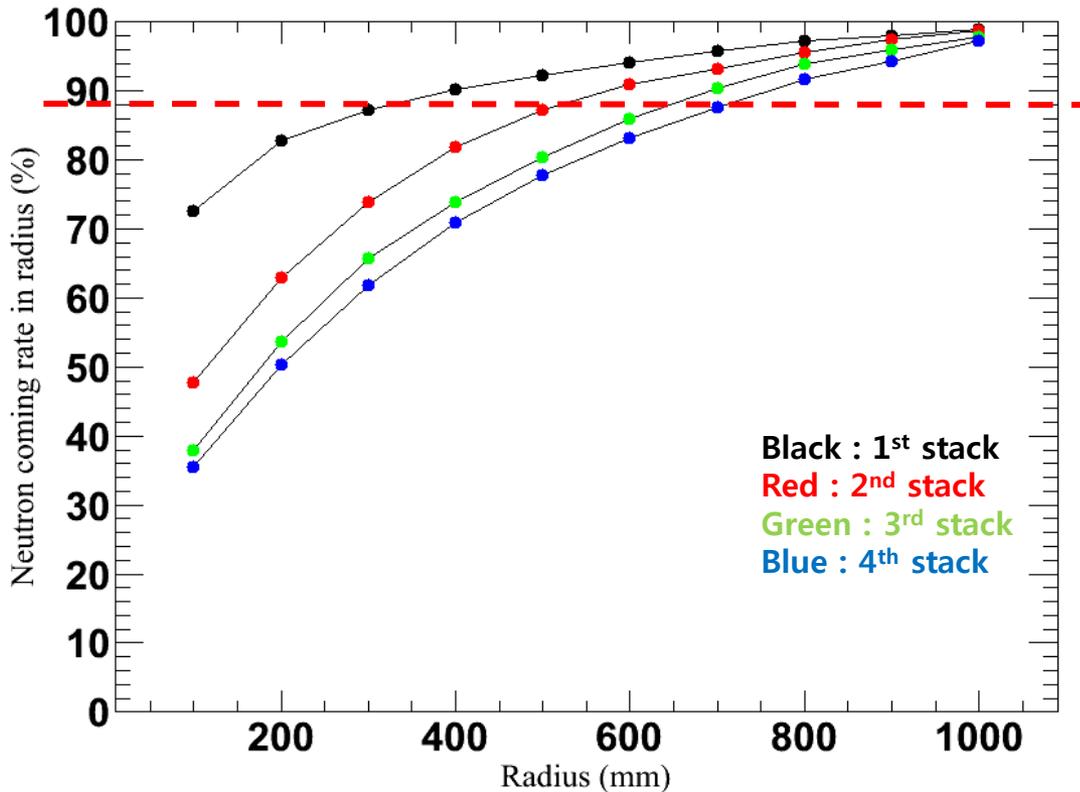
- Neutron coming rate in radius



- 300 MeV 의 중성자가 각각의 stack 을 지나면서 퍼지는 정도
- Event 수 : 10000
- **Stack 간 간격 : 40 cm, 60 cm**
- **Threshold : 10 MeV**
- 중성자 발사 위치 : (5 cm, 5 cm, 0 cm) – 중간에서 가장 가까운 bar 검출기 중앙을 통과하도록 함.

# High-energy Neutron Detector Simulation for LAMPS without Signal Simulation

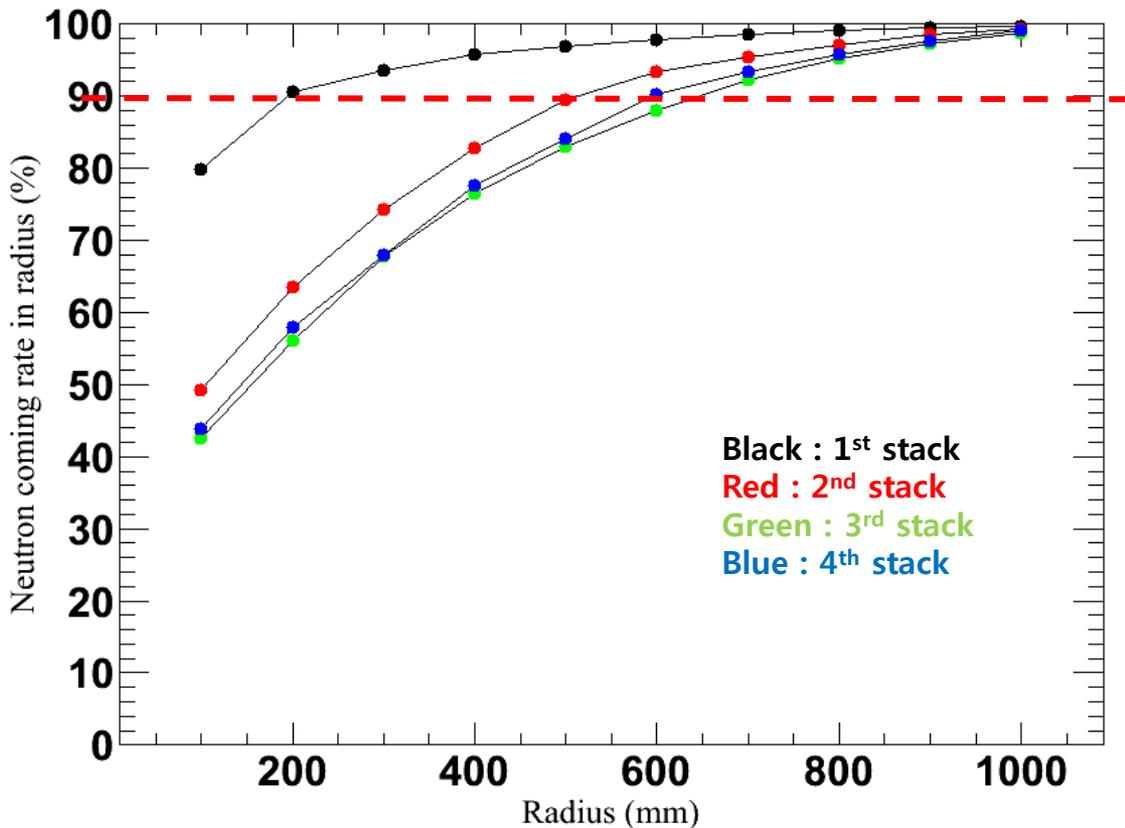
- **x axis** : 중성자 발사위치를 기준으로, 검출기에 신호를 남기는 지점의 x-y 평면상에서의 거리
- **y axis** : 각각의 stack 에 남겨지는 신호들 중 반경 내(<math>x</math>)에 들어오는 신호의 비율
  - $y = (\text{반경 내}(<math>x</math>)에 들어오는 신호의 개수) / (\text{Stack 에 남겨지는 총 신호의 개수})$



Stack 간 간격이 40 cm 일때,  
각 stack에 남겨지는 hit들의  
89 % 가 들어오는 반경  
1<sup>st</sup> stack : 30 cm  
2<sup>nd</sup> stack : 50 cm  
3<sup>rd</sup> stack : 70 cm  
4<sup>th</sup> stack : 70 cm

# High-energy Neutron Detector Simulation for LAMPS with Signal Simulation

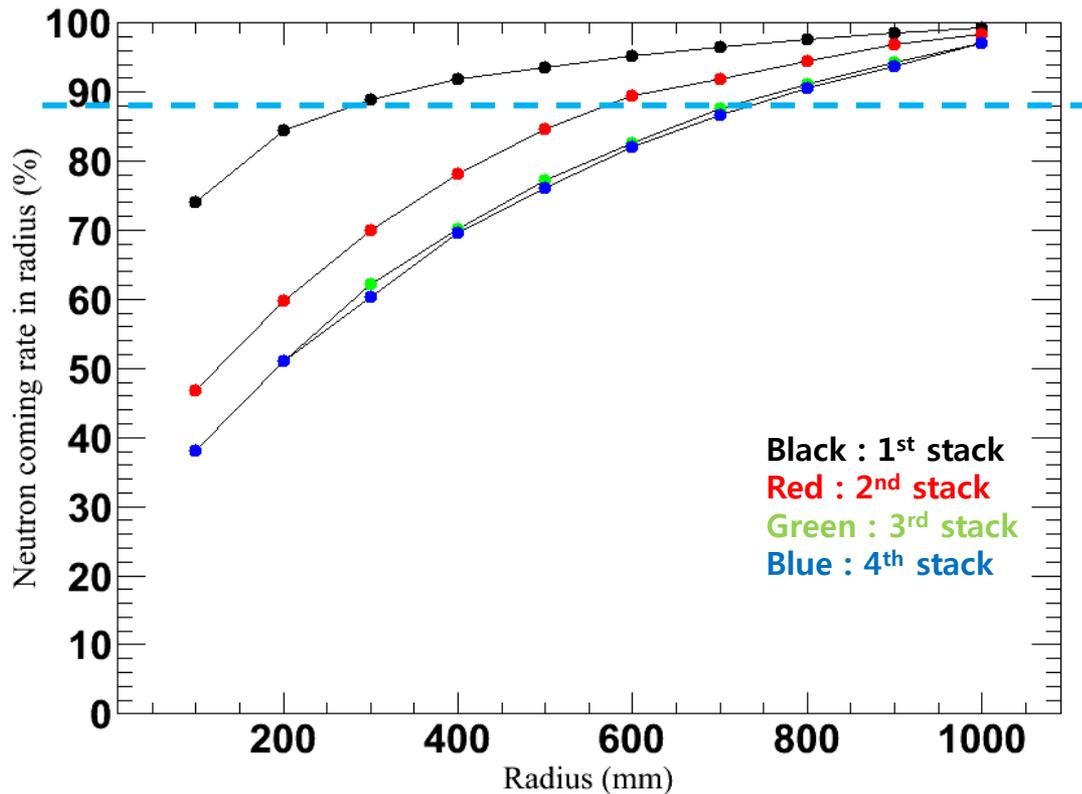
- **x axis** : 중성자 발사위치를 기준으로, 검출기에 signal을 남기는 지점의 x-y 평면상에서의 거리
- **y axis** : 각각의 stack 에 남겨지는 신호들 중 반경 내(<math>x</math>)에 들어오는 신호의 비율
  - $y = (\text{반경 내}(<math>x</math>\text{에 들어오는 신호의 개수}) / (\text{Stack 에 남겨지는 총 신호의 개수}))$



Stack 간 간격이 40 cm 일때,  
각 stack에 남겨지는 signal 들의  
90 % 가 들어오는 반경  
1<sup>st</sup> stack : 20 cm  
2<sup>nd</sup> stack : 50 cm  
3<sup>rd</sup> stack : 60 cm  
4<sup>th</sup> stack : 60 cm

# High-energy Neutron Detector Simulation for LAMPS without Signal Simulation

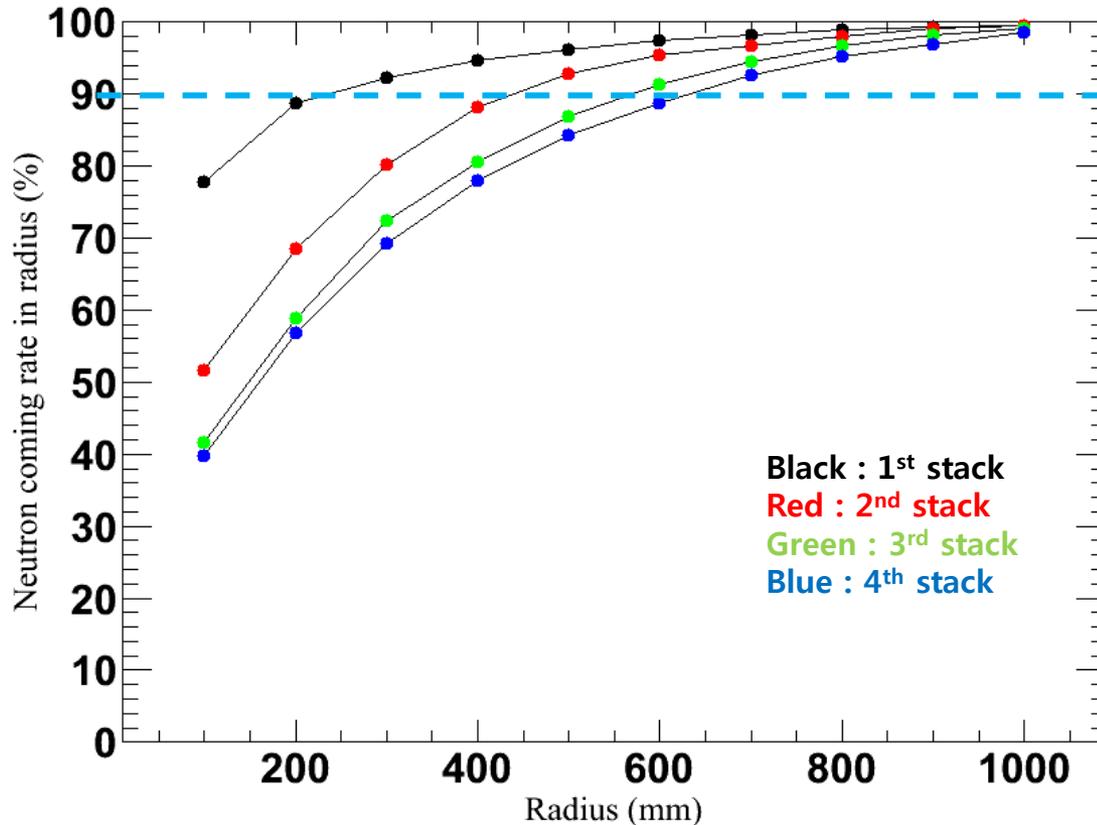
- **x axis** : 중성자 발사위치를 기준으로, 검출기에 신호를 남기는 지점의 x-y 평면상에서의 거리
- **y axis** : 각각의 stack 에 남겨지는 신호들 중 반경 내( $x$ )에 들어오는 신호의 비율
  - $y = (\text{반경 내}(< x)\text{에 들어오는 신호의 개수}) / (\text{Stack 에 남겨지는 총 신호의 개수})$



Stack 간 간격이 60 cm 일때,  
각 stack에 남겨지는 hit들의  
89 % 가 들어오는 반경  
1<sup>st</sup> stack : 30 cm  
2<sup>nd</sup> stack : 60 cm  
3<sup>rd</sup> stack : 70 cm  
4<sup>th</sup> stack : 70 cm

# High-energy Neutron Detector Simulation for LAMPS with Signal Simulation

- **x axis** : 중성자 발사위치를 기준으로, 검출기에 signal 을 남기는 지점의 x-y 평면상에서의 거리
- **y axis** : 각각의 stack 에 남겨지는 신호들 중 반경 내(< x)에 들어오는 신호의 비율
  - $y = (\text{반경 내}(< x)\text{에 들어오는 신호의 개수}) / (\text{Stack 에 남겨지는 총 신호의 개수})$



Stack 간 간격이 60 cm 일때,  
각 stack에 남겨지는 signal 들의  
90 % 가 들어오는 반경  
1<sup>st</sup> stack : 20 cm  
2<sup>nd</sup> stack : 40 cm  
3<sup>rd</sup> stack : 60 cm  
4<sup>th</sup> stack : 60 cm

Black : 1<sup>st</sup> stack  
Red : 2<sup>nd</sup> stack  
Green : 3<sup>rd</sup> stack  
Blue : 4<sup>th</sup> stack

