

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhaye

Rayons
cosmiques
Histoire
Muons
Origines
Relativité
DéTECTEURS

Chambre à
nuages

DANGER
Principe de
construction
Autres : α , ...

Détections de rayons cosmiques : Les muons

Yves Delhaye

4 mars 2016

Le plan

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons
Origines
Relativité
DéTECTEURS

Chambre à
nuages

DANGER
Principe de
construction
Autres : α , ...

1 Rayons cosmiques

- Histoire
- Muons
- Origines
- Relativité
- DéTECTEURS

Le plan

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons
Origines
Relativité
DéTECTEURS

Chambre à
nuages

DANGER
Principe de
construction
Autres : α , ...

1 Rayons cosmiques

- Histoire
- Muons
- Origines
- Relativité
- DéTECTEURS

2 Chambre à nuages

- DANGER
- Principe de construction
- Autres : α , ...

Premières observations

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques

Histoire

Muons

Origines

Relativité

Détecteurs

Chambre à
nuages

DANGER

Principe de
construction

Autres : α , ...

■ Ballons haute altitude



Premières observations

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques

Histoire

Muons

Origines

Relativité

Détecteurs

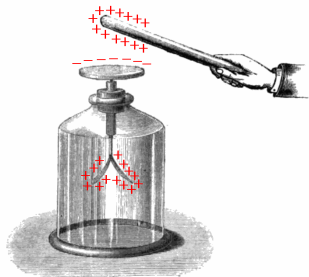
Chambre à
nuages

DANGER

Principe de
construction

Autres : α , ...

- Ballons haute altitude
- Electroscope



Premières observations

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques

Histoire

Muons

Origines

Relativité

Détecteurs

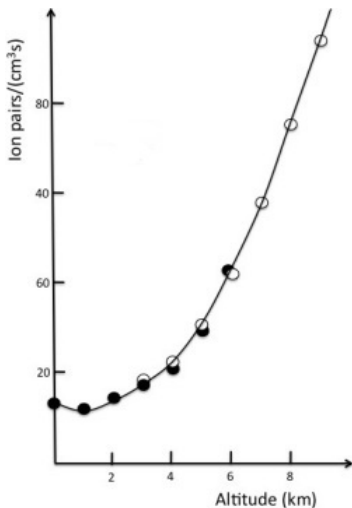
Chambre à
nuages

DANGER

Principe de
construction

Autres : α , ...

- Ballons haute altitude
- Electroscope
- Ionisation en altitude



Premières observations

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques

Histoire

Muons

Origines

Relativité

Détecteurs

Chambre à
nuages

DANGER

Principe de
construction

Autres : α , ...

- Ballons haute altitude
- Electroscopie
- Ionisation en altitude
- Hess



Plaques photos

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques

Histoire

Muons

Origines

Relativité

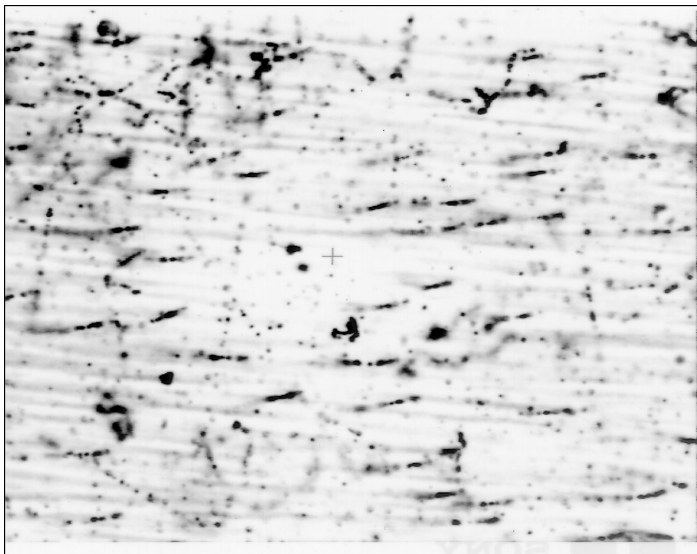
Détecteurs

Chambre à
nuages

DANGER

Principe de
construction

Autres : α , ...



Gerbes issues de protons galactiques

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

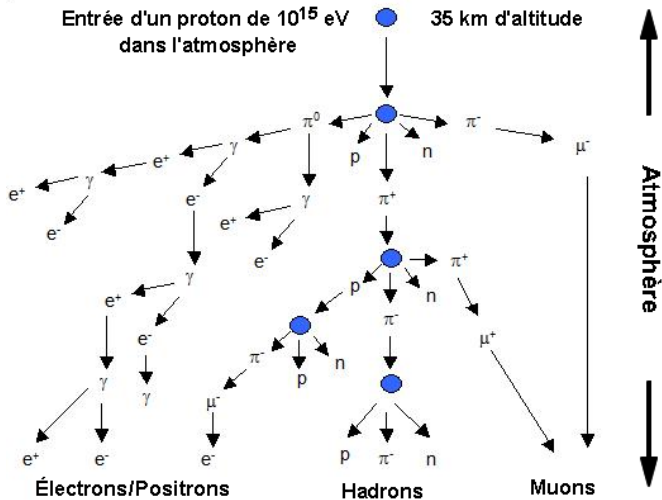
Yves Delhayé

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons
Origines
Relativité
DéTECTEURS

Chambre à
nuages

DANGER
Principe de
construction
Autres : α , ...



Arrivée au sol de quelque 10^6 particules :

80% γ ; 18% e^-/e^+ ; 1,7% muons ; 0,3% hadrons

Combien ?

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhaye

Rayons
cosmiques

Histoire

Muons

Origines

Relativité

Détecteurs

Chambre à
nuages

DANGER

Principe de
construction

Autres : α , ...

■ Chaque minute

Combien ?

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques

Histoire

Muons

Origines

Relativité

Détecteurs

Chambre à
nuages

DANGER

Principe de
construction

Autres : α , ...

- Chaque minute
- $\approx 70\,000$ rayons cosmiques

Combien ?

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques

Histoire

Muons

Origines

Relativité

Détecteurs

Chambre à
nuages

DANGER

Principe de
construction

Autres : α , ...

- Chaque minute
- $\approx 70\,000$ rayons cosmiques
- à travers vous !

Combien ?

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques

Histoire

Muons

Origines

Relativité

Détecteurs

Chambre à
nuages

DANGER

Principe de
construction

Autres : α , ...

- Chaque minute
- $\approx 70\,000$ rayons cosmiques
- à travers vous !
- CÂD

Combien ?

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques

Histoire

Muons

Origines

Relativité

Détecteurs

Chambre à
nuages

DANGER

Principe de
construction

Autres : α , ...

- Chaque minute
- $\approx 70\,000$ rayons cosmiques
- à travers vous !
- CÂD $1/\text{cm}^3$ de votre corps par minute

Modèle standard

Détections de rayons cosmiques : Les muons

Yves Delhaye

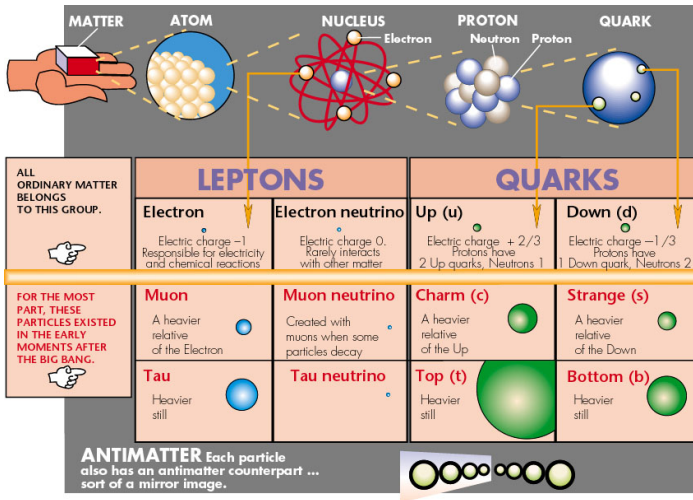
Rayons cosmiques

Histoire
Muons

Origines
Relativité
DéTECTEURS

Chambre à nuages

DANGER
Principe de construction
Autres : a, ...



Modèle standard

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons

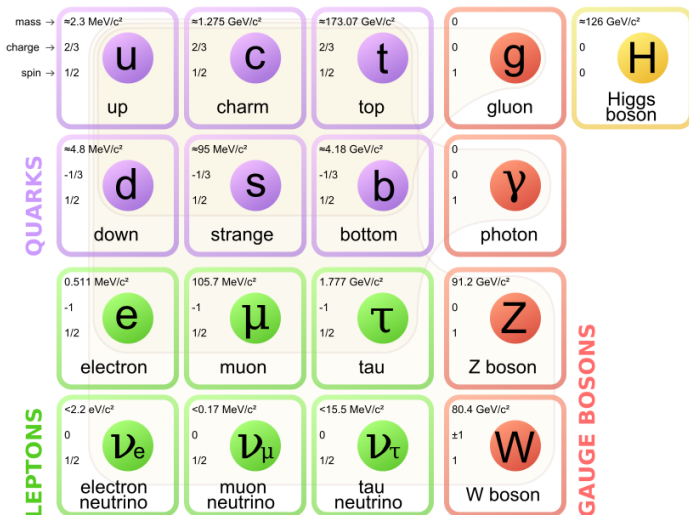
Origines
Relativité
Détections

Chambre à
nuages

DANGER

Principe de
construction

Autres : α , ...



μ^- : caractéristiques

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons

Origines
Relativité
Détecteurs

Chambre à
nuages

DANGER
Principe de
construction

Autres : α , ...

- charge : $-1.6 \times 10^{-19} \text{ C} = q_e$

μ^- : caractéristiques

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques

Histoire

Muons

Origines

Relativité

Détecteurs

Chambre à
nuages

DANGER

Principe de
construction

Autres : α , ...

- charge : $-1.6 \times 10^{-19} \text{ C} = q_e$
- temps de vie : $\approx 2.2 \mu\text{s}$

μ^- : caractéristiques

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques

Histoire

Muons

Origines

Relativité

Détecteurs

Chambre à
nuages

DANGER

Principe de
construction

Autres : α , ...

- charge : $-1.6 \times 10^{-19} \text{ C} = q_e$
- temps de vie : $\approx 2.2 \mu\text{s}$
- masse : $1.88 \times 10^{-28} \text{ kg} \approx 207 m_e$

μ^- : caractéristiques

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques

Histoire

Muons

Origines

Relativité

Détecteurs

Chambre à
nuages

DANGER

Principe de
construction

Autres : α , ...

- charge : $-1.6 \times 10^{-19} \text{ C} = q_e$
- temps de vie : $\approx 2.2 \mu\text{s}$
- masse : $1.88 \times 10^{-28} \text{ kg} \approx 207 m_e$
- "électron lourd"

Big Bang

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons

Origines

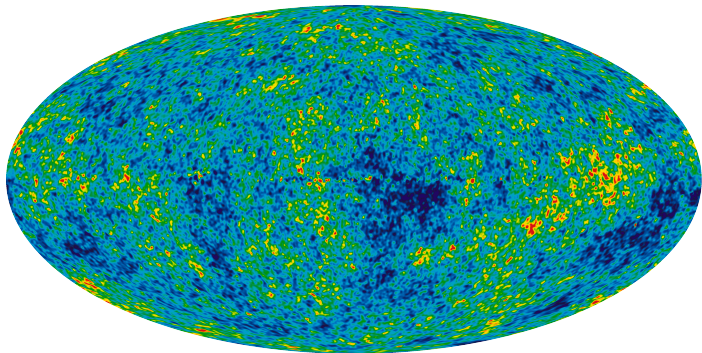
Relativité
DéTECTEURS

Chambre à
nuages

DANGER

Principe de
construction

Autres : α , ...



Novae

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons

Origines

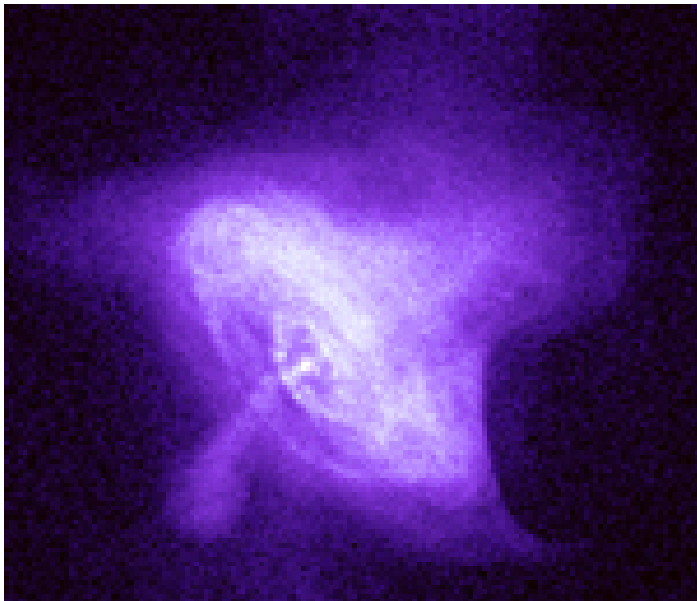
Relativité
DéTECTEURS

Chambre à
nuages

DANGER

Principe de
construction

Autres : α , ...



Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons

Origines

Relativité
DéTECTEURS

Chambre à
nuages

DANGER

Principe de
construction

Autres : α , ...

■ noyaux d'hydrogène

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhaye

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons

Origines

Relativité
DéTECTEURS

Chambre à
nuages

DANGER

Principe de
construction

Autres : α , ...

- noyaux d'hydrogène
- protons

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons

Origines

Relativité

Détecteurs

Chambre à
nuages

DANGER

Principe de
construction

Autres : α , ...

- noyaux d'hydrogène
- protons
- très énergétiques

Soleil

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons

Origines

Relativité
DéTECTEURS

Chambre à
nuages

DANGER

Principe de
construction

Autres : α , ...

- noyaux d'hydrogène
- protons
- très énergétiques
- vents solaires

$$E = mc^2$$

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhaye

Rayons
cosmiques
Histoire
Muons
Origines
Relativité
DéTECTEURS

Chambre à
nuages
DANGER
Principe de
construction
Autres : α , ...

■ p^+ très énergétiques

$$E = mc^2$$

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhaye

Rayons
cosmiques
Histoire
Muons
Origines
Relativité
DéTECTEURS

Chambre à
nuages
DANGER
Principe de
construction
Autres : α , ...

- p^+ très énergétiques càd. RAPIDES

$$E = mc^2$$

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhaye

Rayons
cosmiques
Histoire
Muons
Origines
Relativité
DéTECTEURS

Chambre à
nuages
DANGER
Principe de
construction
Autres : α , ...

- p^+ très énergétiques càd. RAPIDES
- Vitesse =

$$E = mc^2$$

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhaye

Rayons
cosmiques
Histoire
Muons
Origines
Relativité
DéTECTEURS

Chambre à
nuages
DANGER
Principe de
construction
Autres : α , ...

- p^+ très énergétiques càd. RAPIDES
- Vitesse = ÉNERGIE

$$E = mc^2$$

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhaye

Rayons
cosmiques
Histoire
Muons
Origines
Relativité
DéTECTEURS

Chambre à
nuages
DANGER
Principe de
construction
Autres : α , ...

- p^+ très énergétiques càd. RAPIDES
- Vitesse = ÉNERGIE cinétique

$$E = mc^2$$

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhaye

Rayons
cosmiques
Histoire
Muons
Origines
Relativité
DéTECTEURS

Chambre à
nuages

DANGER
Principe de
construction
Autres : α , ...

- p^+ très énergétiques càd. RAPIDES
- Vitesse = ÉNERGIE cinétique
- énergie

$$E = mc^2$$

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques
Histoire
Muons
Origines
Relativité
DéTECTEURS

Chambre à
nuages

DANGER
Principe de
construction
Autres : α , ...

- p^+ très énergétiques càd. RAPIDES
- Vitesse = ÉNERGIE cinétique
- énergie transformée

$$E = mc^2$$

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques
Histoire
Muons
Origines
Relativité
DéTECTEURS

Chambre à
nuages

DANGER
Principe de
construction
Autres : α , ...

- p^+ très énergétiques càd. RAPIDES
- Vitesse = ÉNERGIE cinétique
- énergie transformée en MASSE

$$E = mc^2$$

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques
Histoire
Muons
Origines
Relativité
DéTECTEURS

Chambre à
nuages
DANGER
Principe de
construction
Autres : α , ...

- p^+ très énergétiques càd. RAPIDES
- Vitesse = ÉNERGIE cinétique
- énergie transformée en MASSE
- Principe utilisé au CERN

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhaye

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons

Origines

Relativité

Détecteurs

Chambre à
nuages

DANGER

Principe de
construction

Autres : α , ...

■ Temps de vie du muon :

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhaye

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons
Origines

Relativité
DéTECTEURS

Chambre à
nuages

DANGER
Principe de
construction
Autres : α , ...

- Temps de vie du muon : $\approx 2.2\mu\text{s}$

Paradoxe

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques
Histoire
Muons
Origines
Relativité
DéTECTEURS

Chambre à
nuages

DANGER
Principe de
construction
Autres : α , ...

- Temps de vie du muon : $\approx 2.2\mu\text{s}$
- Vitesse de la lumière $c = 299\,792\,458\text{m s}^{-1} \approx 3 \times 10^8\text{m s}^{-1}$

Paradoxe

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques
Histoire
Muons
Origines
Relativité
DéTECTEURS

Chambre à
nuages

DANGER
Principe de
construction
Autres : α , ...

- Temps de vie du muon : $\approx 2.2\mu\text{s}$
- Vitesse de la lumière $c = 299\,792\,458\text{ms}^{-1} \approx 3 \times 10^5\text{kms}^{-1}$
- \Rightarrow distance parcourue par le muon depuis la haute atmosphère

Paradoxe

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques
Histoire
Muons
Origines
Relativité
DéTECTEURS

Chambre à
nuages

DANGER
Principe de
construction
Autres : a, ...

- Temps de vie du muon : $\approx 2.2 \mu\text{s}$
- Vitesse de la lumière $c = 299\,792\,458 \text{ m s}^{-1} \approx 3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$
- \Rightarrow distance parcourue par le muon depuis la haute atmosphère
- $d = 2.2 \times 10^{-6} \text{ s} \times 3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$

Paradoxe

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques
Histoire
Muons
Origines
Relativité
DéTECTEURS

Chambre à
nuages

DANGER
Principe de
construction
Autres : a, ...

- Temps de vie du muon : $\approx 2.2 \mu\text{s}$
- Vitesse de la lumière $c = 299\,792\,458 \text{ m s}^{-1} \approx 3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$
- \Rightarrow distance parcourue par le muon depuis la haute atmosphère
- $d = 2.2 \times 10^{-6} \text{ s} \times 3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$
- $d \approx 600 \text{ m}$

Paradoxe

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhaye

Rayons
cosmiques
Histoire
Muons
Origines
Relativité
DéTECTEURS

Chambre à
nuages

DANGER
Principe de
construction
Autres : α , ...

- Temps de vie du muon : $\approx 2.2 \mu\text{s}$
- Vitesse de la lumière $c = 299\,792\,458 \text{ m s}^{-1} \approx 3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$
- \Rightarrow distance parcourue par le muon depuis la haute atmosphère
- $d = 2.2 \times 10^{-6} \text{ s} \times 3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$
- $d \approx 600 \text{ m}$
- OOPS!

Jumeaux de Langevin

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons
Origines

Relativité
DéTECTEURS

Chambre à
nuages

DANGER
Principe de
construction

Autres : α , ...

- Vitesse proche de c

Jumeaux de Langevin

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons
Origines

Relativité
DéTECTEURS

Chambre à
nuages

DANGER
Principe de
construction

Autres : α , ...

- Vitesse proche de c
- \Rightarrow Dilatation du temps

Jumeaux de Langevin

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons
Origines

Relativité
DéTECTEURS

Chambre à
nuages

DANGER
Principe de
construction

Autres : α , ...

- Vitesse proche de c
- \Rightarrow Dilatation du temps

- $$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Jumeaux de Langevin

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons
Origines

Relativité
DéTECTEURS

Chambre à
nuages

DANGER
Principe de
construction

Autres : α , ...

- Vitesse proche de c
- \Rightarrow Dilatation du temps
- $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$
- Temps de vie

Jumeaux de Langevin

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons
Origines

Relativité
DéTECTEURS

Chambre à
nuages

DANGER
Principe de
construction

Autres : α , ...

- Vitesse proche de c
- \Rightarrow Dilatation du temps
- $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$
- Temps de vie
- $\Delta t' = \gamma \Delta t$

Jumeaux de Langevin

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons
Origines

Relativité
DéTECTEURS

Chambre à
nuages

DANGER
Principe de
construction

Autres : a, ...

- Vitesse proche de c
- \Rightarrow Dilatation du temps
- $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$
- Temps de vie
- $\Delta t' = \gamma \Delta t$
- $\Delta t' \approx 100 \mu\text{s}$

Jumeaux de Langevin

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons
Origines

Relativité
DéTECTEURS

Chambre à
nuages

DANGER
Principe de
construction

Autres : a, ...

- Vitesse proche de c
- \Rightarrow Dilatation du temps
- $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$
- Temps de vie
- $\Delta t' = \gamma \Delta t$
- $\Delta t' \approx 100 \mu\text{s}$
- $d \approx 30 \text{ km}$

Jumeaux de Langevin

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons
Origines

Relativité
DéTECTEURS

Chambre à
nuages

DANGER
Principe de
construction

Autres : a, ...

- Vitesse proche de c
- \Rightarrow Dilatation du temps
- $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$
- Temps de vie
- $\Delta t' = \gamma \Delta t$
- $\Delta t' \approx 100 \mu\text{s}$
- $d \approx 30 \text{ km}$
- moyenne

Jumeaux de Langevin

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons
Origines

Relativité
DéTECTEURS

Chambre à
nuages

DANGER
Principe de
construction

Autres : a, ...

- Vitesse proche de c
- \Rightarrow Dilatation du temps
- $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$
- Temps de vie
- $\Delta t' = \gamma \Delta t$
- $\Delta t' \simeq 100 \mu\text{s}$
- $d \simeq 30 \text{ km}$
- moyenne OK!

Rayonnements ionisants

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhaye

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons

Origines
Relativité

Détecteurs

Chambre à
nuages

DANGER
Principe de
construction

Autres : α , ...

■ Soit Rayonnements EM

Rayonnements ionisants

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhaye

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons

Origines
Relativité

Détecteurs

Chambre à
nuages

DANGER
Principe de
construction

Autres : α , ...

- Soit Rayonnements EM γ, X

Rayonnements ionisants

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhaye

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons

Origines
Relativité

Détecteurs

Chambre à
nuages

DANGER
Principe de
construction

Autres : α , ...

- Soit Rayonnements EM γ, X
- Soit particules CHARGÉES

Rayonnements ionisants

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhaye

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons

Origines
Relativité

Détecteurs

Chambre à
nuages

DANGER
Principe de
construction

Autres : α , ...

- Soit Rayonnements EM γ, X
- Soit particules CHARGÉES PAS n^0

Rayonnements ionisants

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhaye

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons

Origines
Relativité

Détecteurs

Chambre à
nuages

DANGER
Principe de
construction

Autres : α , ...

- Soit Rayonnements EM γ, X
- Soit particules CHARGÉES PAS n^0 uniquement indirectement

Rayonnements ionisants

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhaye

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons

Origines

Relativité

Détecteurs

Chambre à
nuages

DANGER

Principe de
construction

Autres : α , ...

- Soit Rayonnements EM γ, X
- Soit particules CHARGÉES PAS n^0 uniquement indirectement
- Charge

Rayonnements ionisants

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhaye

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons

Origines
Relativité

Détecteurs

Chambre à
nuages

DANGER
Principe de
construction

Autres : α , ...

- Soit Rayonnements EM γ, X
- Soit particules CHARGÉES PAS n^0 uniquement indirectement
- Charge
- + Vitesse

Rayonnements ionisants

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhaye

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons

Origines
Relativité

Détecteurs

Chambre à
nuages

DANGER
Principe de
construction

Autres : α , ...

- Soit Rayonnements EM γ, X
- Soit particules CHARGÉES PAS n^0 uniquement indirectement
- Charge
- + Vitesse
- ionisation de la matière

Rayonnements ionisants

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhaye

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons
Origines

Relativité
Détecteurs

Chambre à
nuages

DANGER
Principe de
construction

Autres : α , ...

- Soit Rayonnements EM γ, X
- Soit particules CHARGÉES PAS n^0 uniquement indirectement
- Charge
- + Vitesse
- ionisation de la matière
- SI ADN

Rayonnements ionisants

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhaye

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons
Origines

Relativité
Détecteurs

Chambre à
nuages

DANGER
Principe de
construction

Autres : α , ...

- Soit Rayonnements EM γ, X
- Soit particules CHARGÉES PAS n^0 uniquement indirectement
- Charge
- + Vitesse
- ionisation de la matière
- SI ADN ionisation

Rayonnements ionisants

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhaye

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons

Origines
Relativité

Détecteurs

Chambre à
nuages

DANGER
Principe de
construction

Autres : α , ...

- Soit Rayonnements EM γ, X
- Soit particules CHARGÉES PAS n^0 uniquement indirectement
- Charge
- + Vitesse
- ionisation de la matière
- SI ADN ionisation = mutation

Rayonnements ionisants

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhaye

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons
Origines

Relativité
Détecteurs

Chambre à
nuages

DANGER
Principe de
construction

Autres : α , ...

- Soit Rayonnements EM γ, X
- Soit particules CHARGÉES PAS n^0 uniquement indirectement
- Charge
- + Vitesse
- ionisation de la matière
- SI ADN ionisation = mutation = risque de cancer

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons
Origines
Relativité
Détecteurs

Chambre à
nuages

DANGER
Principe de
construction
Autres : a, ...

■ Jeunesse et Sciences

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons

Origines
Relativité

Détecteurs

Chambre à
nuages

DANGER
Principe de
construction

Autres : α , ...

- Jeunesse et Sciences
- Reflex numérique

Photos

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons

Origines
Relativité

Détecteurs

Chambre à
nuages

DANGER

Principe de
construction

Autres : α , ...

- Jeunesse et Sciences
- Reflex numérique
- trace

Chambres diverses

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhaye

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons

Origines
Relativité

Détecteurs

Chambre à
nuages

DANGER
Principe de
construction

Autres : a, ...

■ à brouillard

Chambres diverses

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons

Origines
Relativité

Détecteurs

Chambre à
nuages

DANGER
Principe de
construction

Autres : α , ...

- à brouillard
- de Wilson



Chambres diverses

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons

Origines
Relativité

Détecteurs

Chambre à
nuages

DANGER

Principe de
construction

Autres : α , ...

- à brouillard
- de Wilson
- de Langsdorf



Chambres diverses

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques

Histoire

Muons

Origines

Relativité

Détecteurs

Chambre à
nuages

DANGER

Principe de
construction

Autres : α , ...

- à brouillard
- de Wilson
- de Langsdorf
- à bulles



Chambres diverses

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques

Histoire

Muons

Origines

Relativité

Détecteurs

Chambre à
nuages

DANGER

Principe de
construction

Autres : α , ...

- à brouillard
- de Wilson
- de Langsdorf
- à bulles
- à fils



Chambres diverses

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhaye

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons

Origines
Relativité

Détecteurs

Chambre à
nuages

DANGER
Principe de
construction

Autres : α , ...

- à brouillard
- de Wilson
- de Langsdorf
- à bulles
- à fils
- ...

Scintillateurs et photomultiplicateurs

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhaye

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons

Origines
Relativité

Détecteurs

Chambre à
nuages

DANGER
Principe de
construction

Autres : α , ...

- plastique transparent

Scintillateurs et photomultiplicateurs

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons

Origines
Relativité

Détecteurs

Chambre à
nuages

DANGER
Principe de
construction

Autres : α , ...

- plastique transparent
- lucite

Scintillateurs et photomultiplicateurs

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons

Origines
Relativité

Détecteurs

Chambre à
nuages

DANGER
Principe de
construction

Autres : α , ...

- plastique transparent
- lucite = plexiglas

Scintillateurs et photomultiplicateurs

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons

Origines
Relativité

Détecteurs

Chambre à
nuages

DANGER

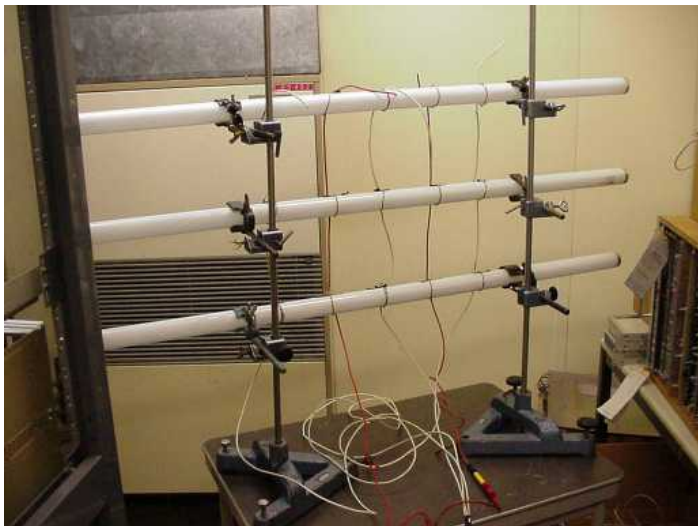
Principe de
construction

Autres : α , ...

- plastique transparent
- lucite = plexiglas
- + photomultiplicateurs

Tubes néons

- Pq. s'allument' ils ?



Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons

Origines
Relativité

Détecteurs

Chambre à
nuages

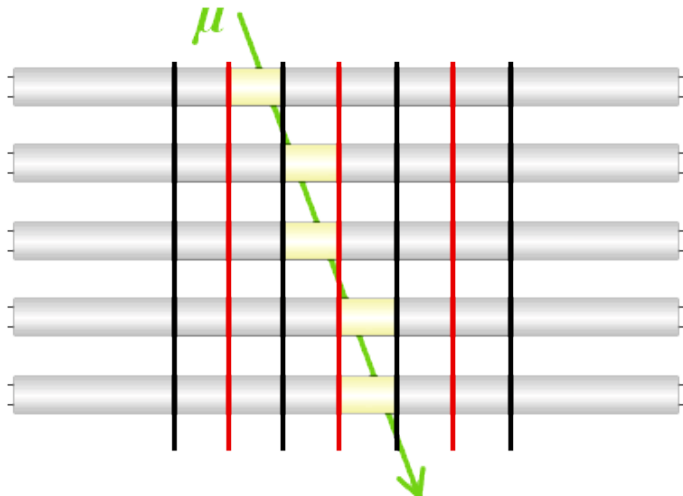
DANGER

Principe de
construction

Autres : α , ...

Tubes néons

- Pq. s'allument' ils ?



Détecteurs
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons

Origines

Relativité

Détecteurs

Chambre à
nuages

DANGER

Principe de
construction

Autres : α , ...

Don't do this at home !

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhaye

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons

Origines
Relativité
DéTECTEURS

Chambre à
nuages

DANGER

Principe de
construction

Autres : a, ...

TOUT est dangereux dans cette expérience :

Don't do this at home !

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhaye

Rayons
cosmiques
Histoire
Muons
Origines
Relativité
DéTECTEURS

Chambre à
nuages

DANGER

Principe de
construction

Autres : α , ...

TOUT est dangereux dans cette expérience :

- Carboglace

Don't do this at home !

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques
Histoire
Muons
Origines
Relativité
DéTECTEURS

Chambre à
nuages

DANGER

Principe de
construction

Autres : α , ...

TOUT est dangereux dans cette expérience :

- Carboglace
 - Brûlures

Don't do this at home !

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques
Histoire
Muons
Origines
Relativité
DéTECTEURS

Chambre à
nuages

DANGER

Principe de
construction

Autres : α , ...

TOUT est dangereux dans cette expérience :

- Carboglace
 - Brûlures
 - Réactions chimiques

Don't do this at home !

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques
Histoire
Muons
Origines
Relativité
DéTECTEURS

Chambre à
nuages

DANGER

Principe de
construction

Autres : a, ...

TOUT est dangereux dans cette expérience :

- Carboglace
 - Brûlures
 - Réactions chimiques
- Isopropanol

Don't do this at home !

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques
Histoire
Muons
Origines
Relativité
DéTECTEURS

Chambre à
nuages

DANGER

Principe de
construction

Autres : a, ...

TOUT est dangereux dans cette expérience :

- Carboglace
 - Brûlures
 - Réactions chimiques
- Isopropanol
 - feu

Don't do this at home !

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques
Histoire
Muons
Origines
Relativité
DéTECTEURS

Chambre à
nuages

DANGER

Principe de
construction

Autres : a, ...

TOUT est dangereux dans cette expérience :

- Carboglace
 - Brûlures
 - Réactions chimiques
- Isopropanol
 - feu
 - vapeurs toxiques

Cheap !

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons

Origines
Relativité
DéTECTEURS

Chambre à
nuages

DANGER

**Principe de
construction**

Autres : a, ...

■ Aquarium en plastique



Cheap !

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons

Origines
Relativité
DéTECTEURS

Chambre à
nuages

DANGER
**Principe de
construction**

Autres : a, ...

- Aquarium en plastique
- Feutre (autocollant)



Cheap !

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques
Histoire
Muons
Origines
Relativité
Détecteurs

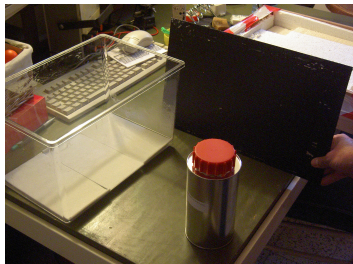
Chambre à
nuages

DANGER

**Principe de
construction**

Autres : a, ...

- Aquarium en plastique
- Feutre (autocollant)
- Plaque métallique (peinte en noir)



Cheap !

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques
Histoire
Muons
Origines
Relativité
DéTECTEURS

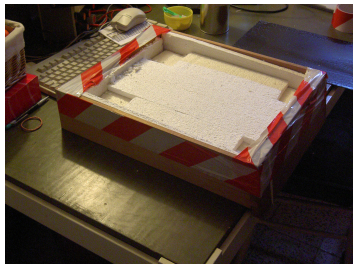
Chambre à
nuages

DANGER

**Principe de
construction**

Autres : α , ...

- Aquarium en plastique
- Feutre (autocollant)
- Plaque métallique (peinte en noir)
- Boîte isolante (tiroir + frigolite)



Cheap !

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhaye

Rayons
cosmiques
Histoire
Muons
Origines
Relativité
DéTECTEURS

Chambre à
nuages

DANGER
**Principe de
construction**

Autres : a, ...

- Aquarium en plastique
- Feutre (autocollant)
- Plaque métallique (peinte en noir)
- Boîte isolante (tiroir + frigolite)
- carboglace



Cheap !

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhaye

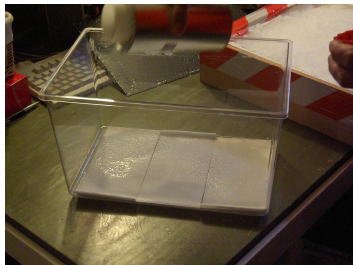
Rayons
cosmiques
Histoire
Muons
Origines
Relativité
DéTECTEURS

Chambre à
nuages

DANGER
Principe de
construction

Autres : a, ...

- Aquarium en plastique
- Feutre (autocollant)
- Plaque métallique (peinte en noir)
- Boîte isolante (tiroir + freigolite)
- carboglace
- Isopropanol



Cheap !

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhaye

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons
Origines
Relativité
DéTECTEURS

Chambre à
nuages

DANGER
Principe de
construction
Autres : a, ...

- Aquarium en plastique
- Feutre (autocollant)
- Plaque métallique (peinte en noir)
- Boîte isolante (tiroir + frigolite)
- carboglace
- Isopropanol
- Brique et duct tape



Cheap !

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

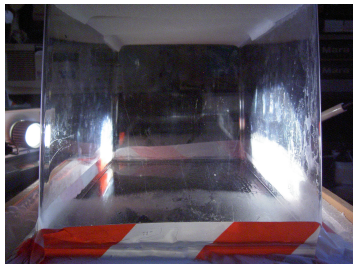
Yves Delhaye

Rayons
cosmiques
Histoire
Muons
Origines
Relativité
DéTECTEURS

Chambre à
nuages

DANGER
Principe de
construction
Autres : a, ...

- Aquarium en plastique
- Feutre (autocollant)
- Plaque métallique (peinte en noir)
- Boîte isolante (tiroir + frigolite)
- carboglace
- Isopropanol
- Brique et duct tape
- Lumière rasante



Gradient de température

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhaye

Rayons
cosmiques
Histoire
Muons
Origines
Relativité
Détecteurs

Chambre à
nuages

DANGER

**Principe de
construction**

Autres : a, ...

■ En haut :

Gradient de température

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhaye

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons

Origines
Relativité
DéTECTEURS

Chambre à
nuages

DANGER

**Principe de
construction**

Autres : a, ...

- En haut : température ambiante

Gradient de température

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhaye

Rayons
cosmiques
Histoire
Muons
Origines
Relativité
Détecteurs

Chambre à
nuages

DANGER

**Principe de
construction**

Autres : a, ...

- En haut : température ambiante
- 20°C

Gradient de température

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhaye

Rayons
cosmiques
Histoire
Muons
Origines
Relativité
DéTECTEURS

Chambre à
nuages

DANGER

Principe de
construction

Autres : a, ...

- En haut : température ambiante
- 20°C
- En bas :

Gradient de température

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhaye

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons

Origines
Relativité
DéTECTEURS

Chambre à
nuages

DANGER

Principe de
construction

Autres : a, ...

- En haut : température ambiante
- 20°C
- En bas : carboglace

Gradient de température

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhaye

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons

Origines
Relativité
DéTECTEURS

Chambre à
nuages

DANGER

Principe de
construction

Autres : a, ...

- En haut : température ambiante
- 20°C
- En bas : carboglace
- -80°C

Gradient de température

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques
Histoire
Muons
Origines
Relativité
DéTECTEURS

Chambre à
nuages

DANGER
**Principe de
construction**

Autres : a, ...

- En haut : température ambiante
- 20°C
- En bas : carboglace
- -80°C
- Différence -100°C/20cm

Gradient de température

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques
Histoire
Muons
Origines
Relativité
DéTECTEURS

Chambre à
nuages

DANGER
Principe de
construction

Autres : a, ...

- En haut : température ambiante
- 20°C
- En bas : carboglace
- -80°C
- Différence -100°C/20cm
- Gradient : -500°C/m

Vapeur sursaturée

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhaye

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons

Origines
Relativité
Détecteurs

Chambre à
nuages

DANGER

**Principe de
construction**

Autres : a, ...

■ Isopropanol

Vapeur sursaturée

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons

Origines

Relativité

Détecteurs

Chambre à
nuages

DANGER

**Principe de
construction**

Autres : a, ...

- Isopropanol
- En "haut"

Vapeur sursaturée

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons

Origines
Relativité
DéTECTEURS

Chambre à
nuages

DANGER

**Principe de
construction**

Autres : a, ...

- Isopropanol
- En "haut" à 20°C

Vapeur sursaturée

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons

Origines
Relativité
DéTECTEURS

Chambre à
nuages

DANGER

Principe de
construction

Autres : a, ...

- Isopropanol
- En "haut" à 20°C vaporisation

Vapeur sursaturée

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhaye

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons

Origines

Relativité

Détecteurs

Chambre à
nuages

DANGER

**Principe de
construction**

Autres : a, ...

- Isopropanol
- En "haut" à 20°C vaporisation
- En "bas"

Vapeur sursaturée

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons

Origines
Relativité
DéTECTEURS

Chambre à
nuages

DANGER

**Principe de
construction**

Autres : a, ...

- Isopropanol
- En "haut" à 20°C vaporisation
- En "bas" à -80°C

Vapeur sursaturée

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons

Origines

Relativité

Détecteurs

Chambre à
nuages

DANGER

**Principe de
construction**

Autres : a, ...

- Isopropanol
- En "haut" à 20°C vaporisation
- En "bas" à -80°C condensation

Vapeur sursaturée

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons

Origines

Relativité

Détecteurs

Chambre à
nuages

DANGER

**Principe de
construction**

Autres : a, ...

- Isopropanol
- En "haut" à 20°C vaporisation
- En "bas" à -80°C condensation
- devrait être liquide ...

Vapeur sursaturée

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons

Origines
Relativité
DéTECTEURS

Chambre à
nuages

DANGER
**Principe de
construction**

Autres : a, ...

- Isopropanol
- En "haut" à 20°C vaporisation
- En "bas" à -80°C condensation
- devrait être liquide ...
- "n'a pas eu le temps de s'en rendre compte !"

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons

Origines

Relativité

Détecteurs

Chambre à
nuages

DANGER

**Principe de
construction**

Autres : a, ...

■ Traces



Observations

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons

Origines

Relativité

Détecteurs

Chambre à
nuages

DANGER

**Principe de
construction**

Autres : a, ...

- Traces
- 1/2 seconde



Observations

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons
Origines
Relativité
DéTECTEURS

Chambre à
nuages

DANGER

**Principe de
construction**

Autres : a, ...

- Traces
- 1/2 seconde
- Avion dans le ciel



Observations

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques
Histoire
Muons
Origines
Relativité
DéTECTEURS

Chambre à
nuages

DANGER
**Principe de
construction**

Autres : a, ...

- Traces
- 1/2 seconde
- Avion dans le ciel
- Traînée de condensation



α

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons

Origines
Relativité
DéTECTEURS

Chambre à
nuages

DANGER
Principe de
construction

Autres : α , ...

■ Gros cigare



Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques

Histoire
Muons

Origines
Relativité
DéTECTEURS

Chambre à
nuages

DANGER
Principe de
construction

Autres : α , ...

- Gros cigare
- Radon



DANGER : Don't do this at home !

Détections
de rayons
cosmiques :
Les muons

Yves Delhayé

Rayons
cosmiques
Histoire
Muons
Origines
Relativité
DéTECTEURS

Chambre à
nuages

DANGER
Principe de
construction

Autres : α , ...

TOUT est dangereux dans cette expérience :

- Carboglace
 - Brûlures
 - Réactions chimiques
- Isopropanol
 - feu
 - vapeurs toxiques