

霧箱(きりばこ)

小林信之
大阪大学核物理研究センター(RCNP)

Slides: Courtesy of
高久 圭二, 神戸常盤大学・RCNP

SAP2020 2020年11月28日(土)



霧箱？

過飽和状態の気体中を荷電粒子が通過する時に生成する霧粒によって、**荷電粒子の飛跡**を観測する装置
(飛行機雲と原理は同じ)

強い磁場の中では荷電粒子の飛跡が曲がる
→ 曲率から粒子の電荷の符号や粒子の運動量

1923年 ウィルソンとボーテによるコンプトン散乱の反跳電子の観測

1932年 アンダーソンによる陽電子の発見

1936年 ミュー粒子の発見

→ 霧箱は素粒子物理学の発展に重要な貢献



計測対象の物理量

測定量

検出器

(1) 飛 跡	霧箱, 泡箱, 原子核乾板, プラスチック板飛跡検出器 シンチレーション・カウンター・ホドスコープ MWPC, ワイヤーチェンバー, 各種放電箱
(2) 運動量(直接)	磁界と(1)の計測装置
(3) 速 度	シンチレーション・カウンター・TOF, チェレンコフ・カウンター, 遷移放射検出器
(4) エネルギー	全エネルギーを吸収できる大型シンチレーション・カウンター 鉛ガラス・チェレンコフ・カウンター 金属板・シンチレーター・サンドウィッチ・カウンター 半導体検出器 液体アルゴン検出器
(5) 粒子識別(一般) 特に電子・光子 ミューオン	(2), (3), (4)の計測装置の組合せ (4)をシャワー・カウンターとして用いる. 厚い金属吸収層を加えた(4)の装置

霧箱の分類とその特徴

過飽和状態→1912年 ウィルソンが作成した霧箱は膨張方式であったために、ウィルソン霧箱という場合には膨張方式の霧箱。これに対して、温度勾配を利用する方式は拡散霧箱。

膨張霧箱

密封した容器中にアルコールとアルゴンなどの混合気体を封入して飽和状態に保っておき、荷電粒子の通過に同期してピストンなどにより容器の体積を瞬間的に断熱膨張させる。

欠点→荷電粒子の通過に同期して膨張を行わなければ飛跡を観測できない。そのために、宇宙線や自然放射線を観測しようとする時は極めて多くの写真を撮影しなければならず、かつ、その大部分には何も写っていないことになる。

拡散霧箱

膨張霧箱の欠点を解消して、粒子が通過すればいつでも飛跡が見えるようにした霧箱。箱の上部に溝を作りアルコールなどの液体が入れておき、ヒーターで暖められて蒸発するようになっている。この状態で容器の下部をドライアイスなどで冷却すると容器の中には強い温度勾配ができる。蒸発したアルコールは下部に向かって拡散するが、温度勾配の大きい容器の中央付近では過飽和状態となるので、この領域を荷電粒子が通過すると飛跡が観測される。

欠点→拡散霧箱は連続観察には適しているが、有感度領域が限られていることや感度が一様でないなど。





霧箱の原理

密封された容器の中にエチルアルコールを入れ、底をドライアイスで冷やす。エチルアルコールの沸点 78.3°C であり、常温でもある程度は蒸発しているので、密封容器内にはエチルアルコールの気体が充満することになる。

エチルアルコールの融点が -114.5°C であることから、底側ではドライアイスの温度が -78.5°C (昇華温度)であるため、容器の上部で蒸発した気体が冷却された底部に向かう過程で飽和状態より気体が多く存在する過飽和状態の領域が容器内下部にできる。過飽和状態の気体はわずかな刺激で液体になる。

この過飽和部分に α 線が飛び込むと、電気を帯びた α 線が空気と衝突することによって、酸素や窒素等の原子がイオンになる。このイオンを核にしてエチルアルコールが液化する。この液滴は α 線の通過した後にできるので α 線の軌跡が細い線上の雲のように見えることになる。ジェット機の通過後に見られる飛行機雲と同じ原理である。



話はそれですが。。。

飛行機雲

主に次の2つの原因によって生ずる。

1. エンジン排気中の水蒸気が主因であるもの
2. 翼付近の低圧部に起因するもの

2.よりも1.によって生成された雲の方が長く安定して残る傾向にある。これは、1.では大気中の水蒸気量そのものが増加するためである。

また、飛行機雲は自機を目視を容易にしまうため、軍用機（特に戦闘機や爆撃機）にとってはレーダー技術が発達したとはいえ、厄介な存在である。このため、いかに飛行機雲を少なくするかについては発生原因とともに研究が続けられている。その成果として、アメリカ空軍のB-2には、塩化フッ化スルホン酸を排気に混ぜ、飛行機雲の発生を抑える機能が備わっている。



霧箱の場合は荷電粒子雲と言っていいのかも？

話はそれですが。。。

人工降雨

雨ができるには、核になる粒子と低温の雲が必要であるが、ある程度発達した積雲や層積雲の上部では温度は 0°C 以下になっているものの、氷点下 15°C くらいになるまでは、過冷却となり、雪片の形成に至らず、まだ水滴のままであり、雨として落ちてこない。そこへ、強制的に雪片を作るような物質を散布してやれば雨を降らせる可能性があるわけで、これが人工降雨の考えである。

その材料として、ドライアイスやヨウ化銀が用いられる。ドライアイスを飛行機から雲に散布する事で温度を下げ、またドライアイスの粒を核として氷晶を発生・成長させる。またヨウ化銀の場合は、その結晶格子が六方晶形と言って氷や雪の結晶によく似ているため、雪片を成長させやすい性質がある。また、ドライアイスの代わりに液体炭酸を用いる手法もある。



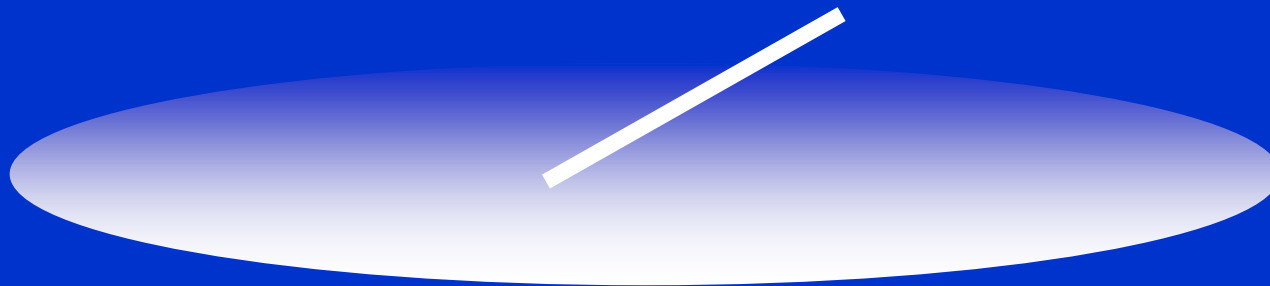
2008年北京五輪の数年前より、8月8日に予定されていた開会式で人工降雨が行われるのではないかという報道があった。日本の梅雨に相当する雨の多い時期にあたるため、雨雲が北京に流れてくる前に人工的に雨を降らせ、雲を消散させて開会式会場付近の晴天を確保するというもので、中国政府が計画。実際に、開会式当日にヨウ化銀を積んだ小型ロケット1104発が北京市内21カ所から発射。効果は十分検証されていないが、開会式は晴れたため、雲の消散に寄与したかもしれない。

飛跡の長さ $\propto$ 全エネルギー

霧の太さは放射線の種類による

(太さ $\propto$ 1mmあたりのエネルギーロス)

こすった下敷きに反応するのはイオンで電荷を帯びているため



マントル



過飽和状態部



宇宙線？

1. 超新星爆発からの陽子が大気(窒素、酸素)と衝突して、 π を発生

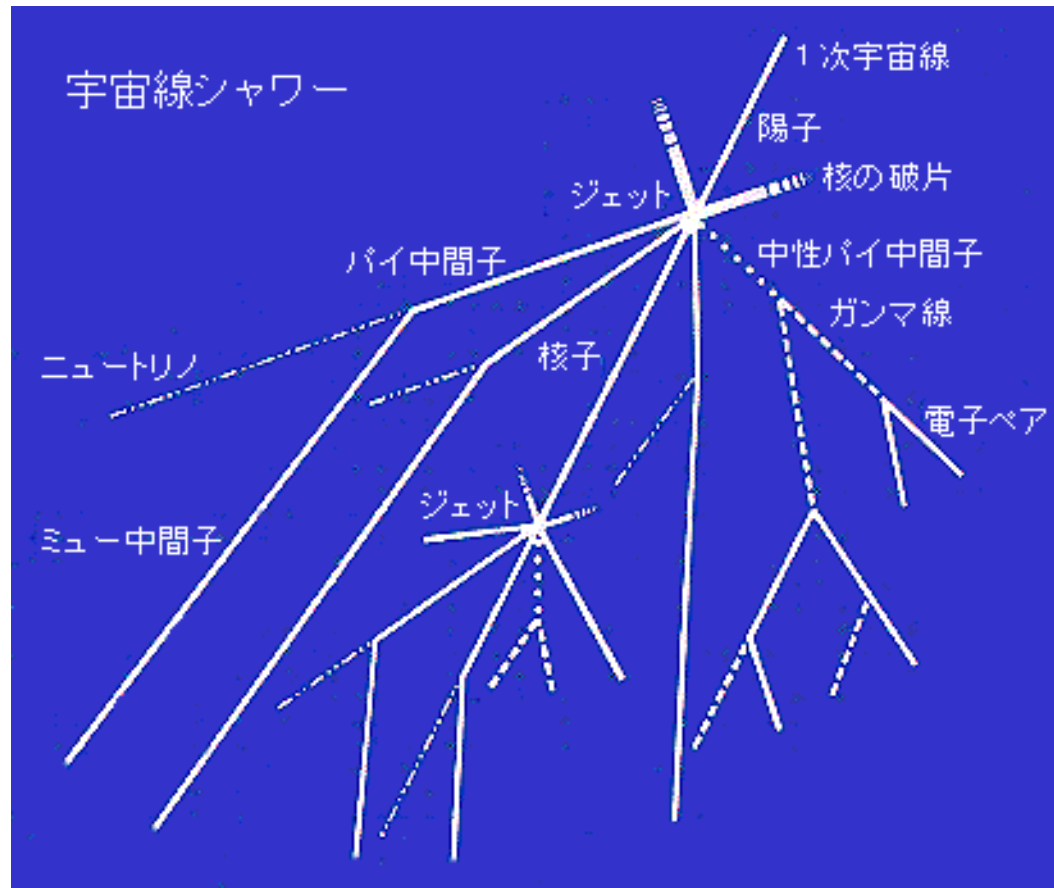
$$p \rightarrow \pi$$

2. π は μ と ν に崩壊する(26ps)。

$$\pi \rightarrow \mu + \nu$$

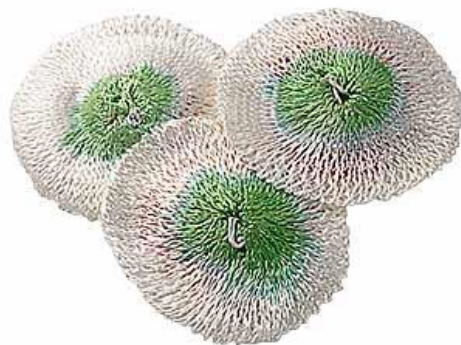
3. μ は $\rightarrow e$ と ν に崩壊する(2.2 μ s)。

$$\mu \rightarrow e + \nu$$



マントル?

キャンプのランプに使うもの



CAPTAIN STAG

Coleman

Fuji-Toki

SOTO

○ → ×

×

×

○

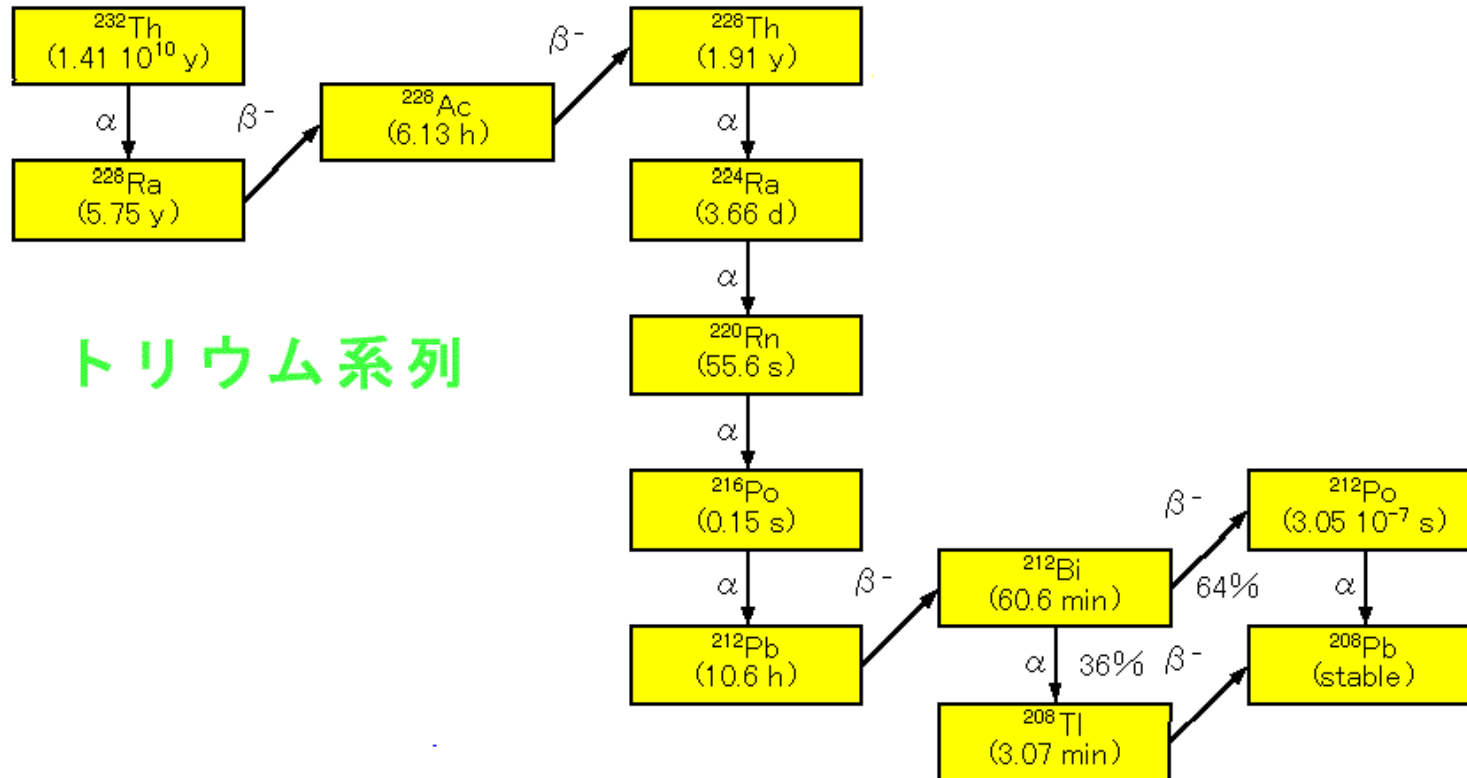
キャンプ用のガスボンベを燃料にしたランプ(ランタン)は網目状のガラス繊維でできたマントルを芯に使用する。

マントルの発光効率を向上させるために、一部のメーカーではごく微量のトリウムをマントルに含浸させてある。トリウムは放射性物質であるが、法令で規制を受けない量であり、ホームセンターなどで売られていた。ただ、最近はトリウムなしのものが増えてきている。

→ 今は大阪府立大学 秋吉優史氏開発のペルチェ冷却式霧箱と一緒に販売しているものが確実

トリウム(^{232}Th : 半減期141億年)の壊変

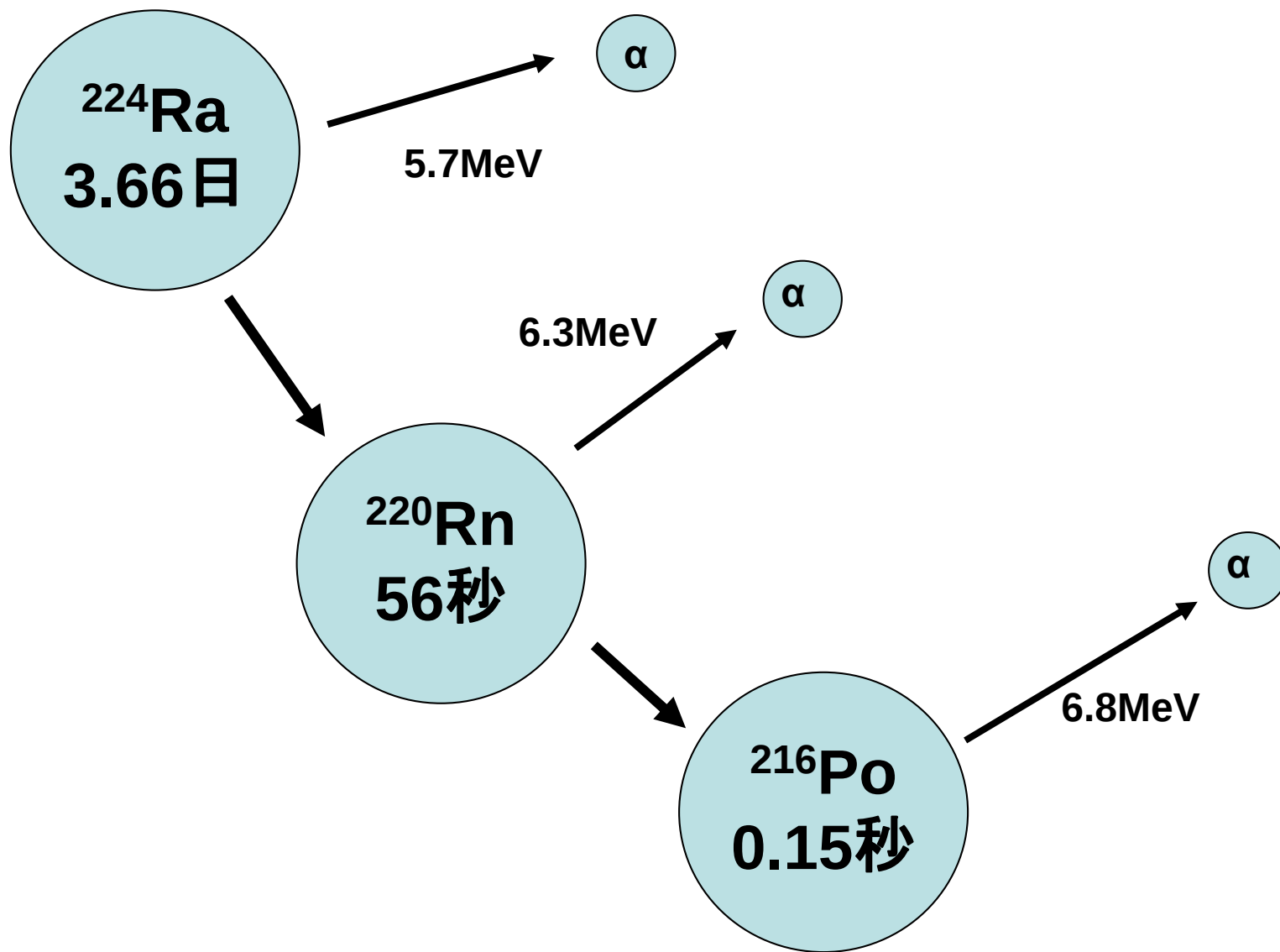
放射性同位体のトリウムが次々に壊変 → トリウム系列



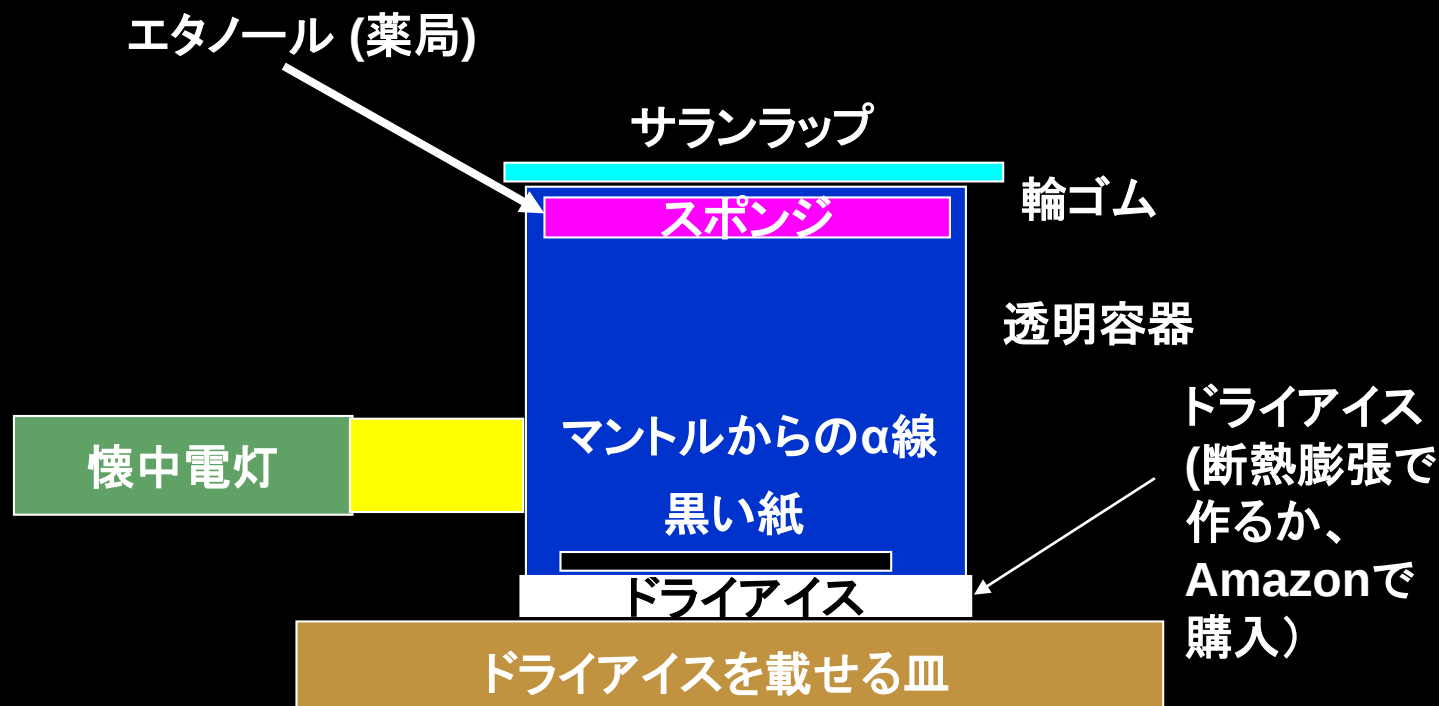
トリウム系列の気体の放射性元素であるラドンは ^{220}Rn であり、マントル片から出て周りの空気中に存在することになる。これは通称トロン(Tn)と呼ばれ、半減期は56秒。放出される α 線のエネルギーは6.3MeV。壊変後は放射性の ^{216}Po になる。 ^{216}Po の半減期は0.15秒、放出される α 線のエネルギーは6.8MeV。このような α 線の飛跡が霧箱の中で観測されている。

V字型の飛跡？

α 線が連続発射されたもので、詳しく観測すると、やや短い飛跡が先に現れ、ほんの一瞬(0.15秒位)遅れてやや長い飛跡が現れる。飛跡の長さは α 線のエネルギーに比例するので ^{220}Rn からの 6.3MeV と ^{216}Po からの 6.8MeV α 線の違いが見えている



皆さんも霧箱を作れます スーパー・薬局・Amazonで揃う



ドライアイスをいかに平らにし、カップに密着させるか。

詳細はネットで検索！
(もちろん、質問も受け付けます！)

1. <https://www.amazon.co.jp/有限会社サイトカイン-ラジウムセラミックスボール-100グラム/dp/B0030UU98Q>
2. https://www.amazon.co.jp/%E5%91%B3%E3%81%AE%E7%B4%A0-%E5%81%A5%E5%BA%B7%E5%A1%A9-%E3%82%84%E3%81%95%E3%81%97%E3%81%8A-180g/dp/B01D2CH75I/ref=sr_1_2?__mk_ja_JP=%E3%82%AB%E3%82%BF%E3%82%AB%E3%83%8A&dchild=1&keywords=%E5%91%B3%E3%81%AE%E7%B4%A0+%E3%82%84%E3%81%95%E3%81%97%E3%81%8A&qid=1606533169&s=pantry&sr=8-2
3. <https://www.amazon.co.jp/T-WELD-D-%E3%82%BF%E3%83%8B%E3%82%B0%E3%82%B9%E3%83%86%E3%83%B3-TIG%E6%BA%B6%E6%8E%A5-%E3%82%BF%E3%83%B3%E3%82%B0%E3%82%B9%E3%83%86%E3%83%B3%E9%9B%BB%E6%A5%B5%E6%A3%922-4%E3%82%BD%E3%82%BD%E3%82%BD%E3%83%88%E3%83%AA%E3%82%BF%E3%83%B3WT-20/dp/B019F9Z5V0>
4. <http://bigbird.riast.osakafu-u.ac.jp/~akiyoshi/WorksI/%E3%83%9A%E3%83%AB%E3%83%81%E3%82%A7%E9%9C%A7%E7%AE%B1%E3%83%AA%E3%83%BC%E3%83%95%E3%83%AC%E3%83%83%E3%83%88.pdf>

ドライアイスの作成

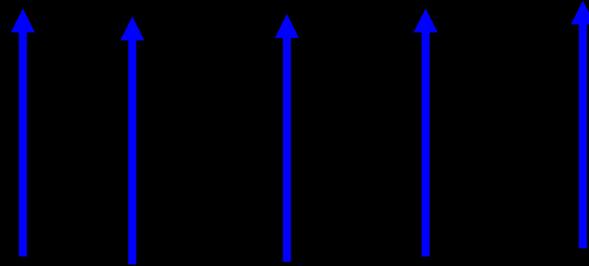
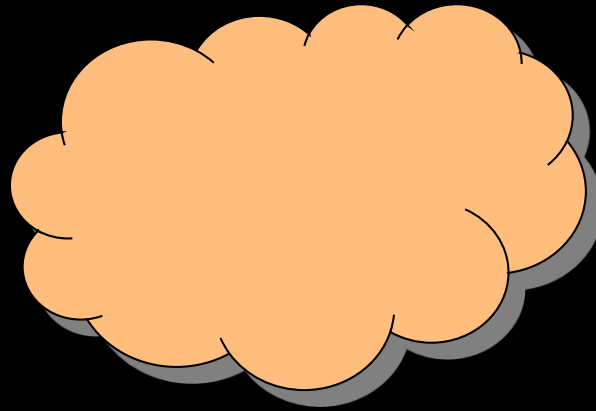
断熱膨張

$$PV=nRT$$

$$\gamma = C_p / C_v$$

$$TV^{\gamma-1} = \text{一定}$$

気体は外部に仕事



断熱膨張

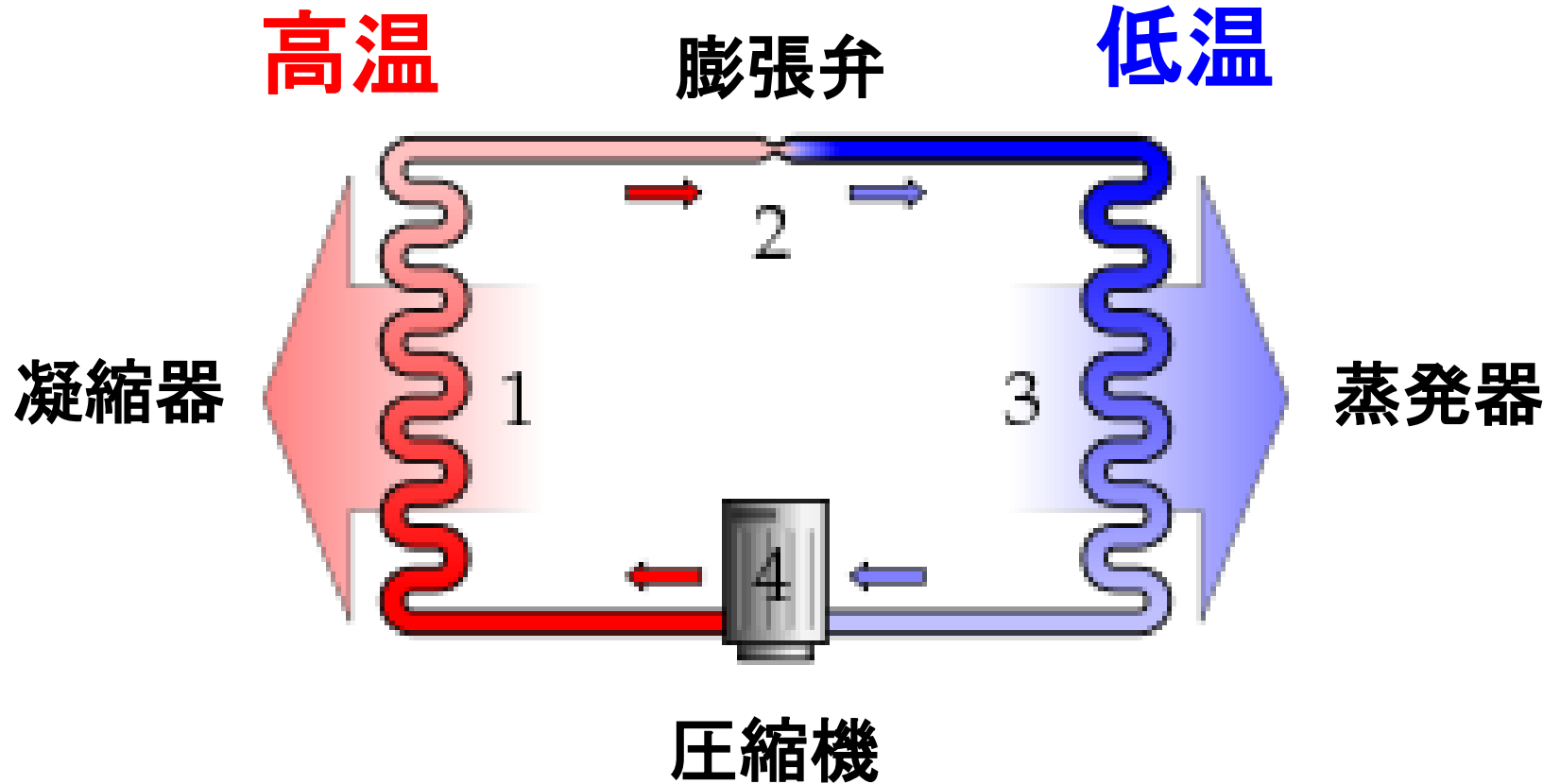
ハーとフーの違い

寒い時、口を開けてハー

熱いもの、口をしぼめてフー



気体液化ヒートポンプのしくみ
Eg., 冷蔵庫、エアコン



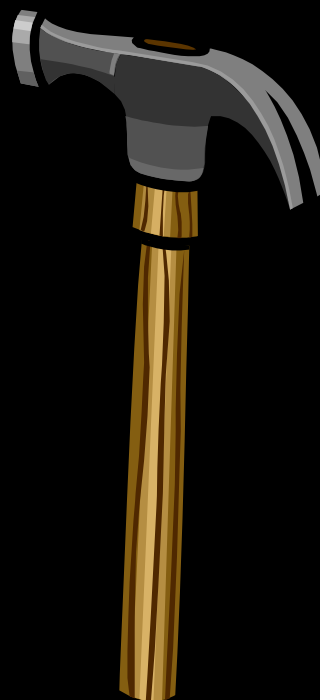
Backup



布

くたく

ドライアイス



くだいたドライアイス



