

科學譯叢

——物理學：第1冊——

同溫層中宇宙線的研究

格里戈洛夫 著

★書是我們的好朋友
我們要好好
的愛護它

中國科學院出版

科學譯叢

——物理學：第1冊——

同溫層中宇宙線的研究

H. Л. 格里戈洛夫 著

黃祖洽 譯



中國科學院出版

1953年9月

本書內容簡單介紹

這本書的原著是一套叢書中間的一本，這套叢書是爲了使人們知道斯大林獎金得獎者的工作而寫的。本書敘述蘇維埃學者——物理學家維爾諾夫 (С. Н. Вернов) 在宇宙射線領域內所作的實驗研究。

維爾諾夫的工作搞清楚了這些射線的性質和這些射線在地面大氣中所引起的一些過程的情形。

目 錄

一、引言.....	1
二、高空研究方法的探討.....	6
三、宇宙射線緯度效應的研究.....	12
四、過渡效應的研究.....	15
五、宇宙線粒子在大氣中散射的研究.....	23
六、宇宙射線東西方位不對稱性的研究.....	29
七、同溫層中次級宇宙線粒子的研究.....	35
八、原質子和物質交互作用的過程的研究.....	42

一、引言

大約 50 年前，物理學家們發現：密閉容器中的乾燥空氣（其中看來沒有什麼帶電的東西）具有雖然小、但仍可量出的導電性。這種現象表示，有某種輻射穿過容器壁，使容器中所含的氣體電離化，成為導電體。那時，物理學家們猜想，這些輻射是放射性元素（鐳、鈾等）放出的輻射，因為所有地殼中多少都分佈有這些元素。可是不久就發現，當密閉容器從地面昇高時，其中氣體的導電度不僅沒有減少，反而大大增加。

將容器昇高到 9 公里，量其中氣體的導電度，物理學家們發現：在這樣高空中空氣的導電度約比海平面上大 70 倍；引起導電性的電離度，也隨着高度的增加不斷上昇。這實驗表示，新發現的輻射是從上空射到地面來的。看來，輻射是來自宇宙空間（以後證實了這一點），因此人們便把它叫作“宇宙射線”。

宇宙射線的發現給學者們提出了許多問題：這些射線是什麼？它們的性質如何？它們在什麼地方、什麼過程中產生？它們怎樣和物質交互作用？

宇宙射線發現之後不多年，學者們已經能夠肯定，這種輻射有下面一些基本特性：

1. 任何輻射都有一個最重要的特性，便是它的“貫穿力”，或者像通常所說，“穿透能力”，即穿透物質層的能力。

當時的物理學家主要是用電離室作儀器，來研究那些在氣體中產生導電性的輻射。電離室的構造和作用的原理很簡單。設想有一個充滿某種氣體的封閉容器，在其中裝兩個電極，兩極之間用電池組產生電場。如果有某種能使氣體電離，即從氣體原子剝掉個別電子同時使中性原子變成陽離子的輻射，當這種輻射穿過我們的容器（電離室）中充滿的氣體時，便會在其中產生陽離子和陰電子。這些離子和電子受兩極間電場的作用，向不同方向運動：陽離子向一極，電子向另外一極。這樣，便有電流流過室內的氣體；因為電流不是別的，只是有秩序的電荷運動。顯然，我們所研究的輻射每秒鐘在電離室的容積內產生離子愈多，室內流過的電流便愈大，即輻射產生的電流可以用來量輻射的強度。

測量室內氣體中流過電流（通常叫作離子電流）的大小，就可以決定我們所研究的能使氣體電離的輻射的強度。

蘇維埃物理學家梅梭夫斯基（Л. В. Мысовский）及追隨他的其他學者曾利用電離室來研究宇宙射線的穿透能力。爲了這目的，他們曾把電離室沉到湖中，研究輻射的強度如何隨電離室在湖中的深度而減少。結果發現，沉到 1000 米深度的電離室中仍可看到氣體電離。這說明，宇宙射線的特點就是具有極大的穿透能力。

2. 用電離室在差不多到 20 公里的高空中作實驗，結果證明，宇宙射線在這種高度產生的電離作用大約比在海平面要大 150 倍。從這裏得到的結論是：雖然宇宙射線的穿透能力大，但在深入地面的大氣層時，這些射線仍然大大被吸收掉。

3. 肯定了，在海平面觀察到的宇宙射線是能量極大的帶電粒子流。引到這個重要結論的是蘇維埃物理學家斯科貝爾琴 (Д. В. Скобелцын) 院士所作的著名的實驗。斯科貝爾琴用一種特別的儀器——雲霧室來研究宇宙射線。這是一種儀器，其中的特殊裝置能產生水蒸汽或酒精蒸汽的過飽和狀態。當帶電粒子穿過雲霧室中充滿的蒸汽時，便從沿途的許多原子“剝去”電子 (和在電離室中發生的情形一樣)，因此便產生一系列的離子。而過飽和蒸汽最容易在離子上凝聚。如是離子周圍便凝成大的液體的點滴，因此帶電粒子經過雲霧室的徑跡便成為可看見的了。

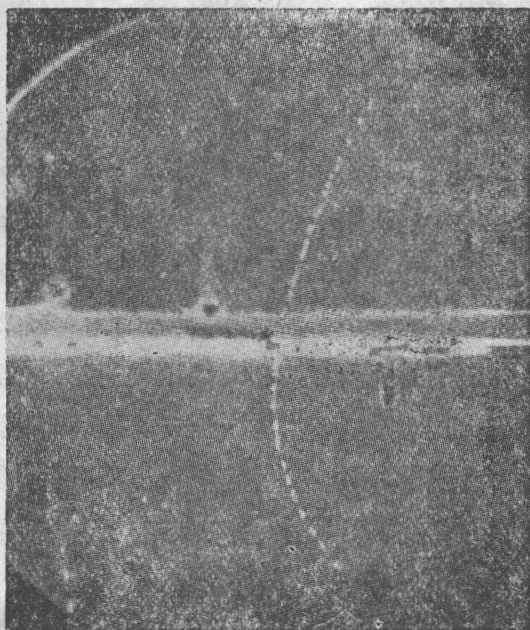


圖 1. 宇宙線粒子的徑跡(彎曲的軌跡)，用照像在雲霧室中照得。雲霧室中被鉛板隔斷，並放在一磁場內。

斯科貝爾琴用照像照出了雲霧室中宇宙綫粒子的徑跡；並證明了，宇宙綫粒子帶有極大的能量，這樣大的能量從來沒有在任何“地面上”產生的粒子上發現過。爲了證明這一點，他利用了物理中的著名現象：在磁場中運動的帶電粒子受到一作用力，使粒子運動的軌道彎曲¹⁾。當帶電粒子進入一和它的運動平面垂直的均勻磁場時，它就開始作圓運動（圖1），而且粒子的能量愈大，圓周的半徑也愈大。因此對能量極大的粒子來說，軌道的彎曲差不多就看不出來了。

這樣，從帶電粒子在磁場中軌道彎曲的程度，就可估計出粒子的能量。斯科貝爾琴利用了這個事實；他把雲霧室放在磁場中間，照下宇宙綫粒子的軌跡的像，結果發現這些粒子的能量比放射元素放出粒子的能量大許多倍。

4. 有種儀器²⁾能記錄從垂直方向射來的宇宙綫中的帶電粒子。學者們利用這種儀器，發現這些宇宙綫粒子的數目隨着海平面上的高度增加而劇增，在15—16公里高的地方達到最大值，高度再大時却開始減少（圖2）。這表示，在大氣頂上進來的宇宙綫粒子比在16公里高處發現的少。由此可見，宇宙綫粒子，當它們通過大氣，和大氣中物質起交互作用時，不只是被吸收掉，而也產生新的粒子。（這種結論在那時似乎很奇怪，因爲當時還不知道，有什麼輻射能產生新的粒子）。

5. 在不同緯度進行觀察，學者們發現，（海平面的）宇

1) 這種性質使放在磁場中的、有電流通過的導體運動。這性質在技術上有廣泛的應用，如所有電動機的製造。

2) 這種儀器叫作“望遠鏡”，詳見第26—27頁。

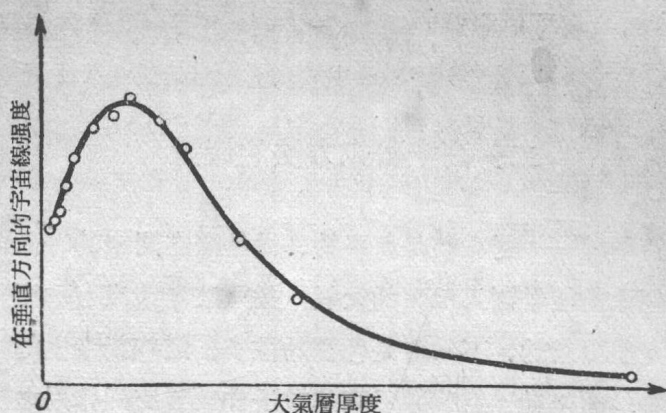


圖 2. 在垂直方向的宇宙線強度隨高度的變化

宇宙線強度在赤道區域最小，以後隨着觀察地點緯度的增加而變大，在莫斯科的緯度附近達到最大值，緯度再大強度就不再變化了。從赤道到高緯度，宇宙線強度的增加並不太——總共不過約 10%。

上面列舉的實驗事實就是當時關於宇宙線的基本知識。年青學者維爾諾夫就在這時加入宇宙線研究者的小小集團。

二、高空研究方法的探討

宇宙射線——對我們是新奇的、從星際空間來的客人。它們帶着極大的能量闖入地面的大氣，按照某種還沒有研究出來的規律產生出新的、不知道是什麼的粒子。這些新產生的粒子同樣朝着地面運動。這些顯示高速粒子和物質交互作用之特性的、頭等有趣的過程，都發生在地面大氣的高空——同溫層中。高度愈大，愈容易去研究原宇宙線粒子：可以想像，在極大高度處，宇宙線的主要部分都是原宇宙線粒子，因為它們還來不及產生很多次級粒子。

不過，怎樣在 20—30 公里的高空中作研究工作呢？只是很難得地有個別學者，乘着在同溫層中飛行的飛船，能昇到 20—22 公里的高度，在短時間內進行必要的觀察。同溫層飛船的航行太難得又太不經濟，不能用來有計劃地、經常地研究高空宇宙射線的性質。因此，應該想出某種完全不同的，不需要觀察者直接昇高，即不要用飛船的研究方法；應該擬定和精通這種方法。這就是維爾諾夫所遇到的第一個問題。

在那時已經有人將重量不大的儀器帶在探測的氣球——充滿着氫氣的薄薄的橡皮球上，作過個別的昇高實驗。可是這些最初的儀器却有個根本缺點：它們到過同溫層，落下到地面之後，必須要人去尋找。自然，這些儀器可能落到荒無人煙的區域而遺失，也可能在落下時重重地撞在地上而破損。在這些情

况之下，飛行的結果便無可挽回地喪失了。

這種方法使儀器和測量結果遭受這樣多的意外損失，自然不能算是够好的方法。因此維爾諾夫就決定造一種小型的、重10—15公斤的“飛行實驗室”，其中要有一些研究宇宙射線性質的、自動操作的儀器，所有測量的結果都要用無線電不斷傳送到地面來。在地面的接收站便要有自動的裝置，記錄下收到的無線電訊號。學者只要把收到的無線電訊號的記錄加以翻譯，就可以知道上昇到20—30公里高空的實驗室中工作的結果。這種利用無線電傳送的方法保證學者完全得到所有的測量結果，不管儀器找得到或找不到。在有些情形下，利用無線電傳送數據的方法是絕對必要的：在荒漠地區探險的條件下，需要進行宇宙射線的研究時，實際上不可能找到落下來的儀器。

維爾諾夫就這樣進行創造自動的“飛行實驗室”。在1933—1934年，他已解決了這個複雜問題，造成了在同溫層中研究宇宙射線的首批儀器，能將測量結果用無線電傳送下來。這比美國研究出這個方法來要早得多。

這些第一批的儀器構造是比較簡單的。用它們可以測量不同高度的宇宙線強度。爲此目的，儀器中安裝有所謂蓋格—密勒計數器。計數器的構造和它作用的原理都很簡單（圖3）。設想在玻璃筒中有一個金屬圓筒，沿着圓筒的軸拉着一根直徑約0.1—0.2毫米的細金屬線，把圓筒和線聯上電池組的兩極。電池組供給幾千伏特的電壓。

我們已經知道，如果氣體中沒有帶電體（離子），這樣的氣體就沒有導電性，因此中間也沒有電流流過。如果有帶電的宇

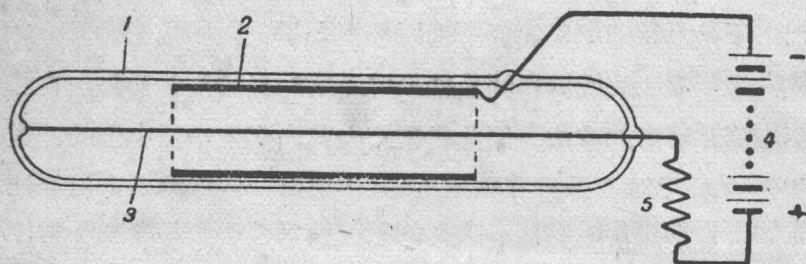


圖 3. 蓋格-密勒計數器的略圖：1—玻璃圓筒；2—陰極(金屬圓筒)；
3—陽極(金屬細線)；4—高壓電池組；5—高電阻。

宙線粒子通過計數器，它沿途便會在充滿計數器的氣體中產生離子，即剝去一些氣體原子上的電子。計數器的線是帶陽電的。被剝出來的電子每一個都向着線運動，運動中又大大地被電場加速，因而得到能力，能在與氣體原子相撞時剝掉它的電子。這新生的電子和那從原子中將它剝出來的電子在一起，數目增多了一倍，繼續向線跑去。被線附近的強電場加速後，每個電子又從中性的氣體原子上剝出一個電子，如是就有了4個電子。它們又被電場加速，重新產生電離，得出8個電子。如此下去。這樣，隨着這羣電子和線接近，它們的數目便雪崩似地增加。落到線上的，不僅是那些被穿過計數器的宇宙線粒子從原子上剝下來的幾個電子，而且還有由上述方式在電子“雪崩”(Лавина)中產生的好幾百萬電子。大量電子落到線上，同時便改變它的電勢，即，如平常所說的，給予一個“電壓的脈衝”。這脈衝很容易用電子管加強到能開動一個繼電器(所謂“電動計數器”)，於是繼電器的指針便沿着標度移動一格。這種和計數器聯在一起的計數器，可以很好地用來記數帶電宇宙線粒子的數目。維爾諾夫在自己的首批儀器中便應用了它。

這樣，首批儀器已經能夠計數通過計數器的宇宙線粒子的數目。不過，不僅需要測定通過計數器的粒子數目，而且還要把這測定的結果用無線電傳送到接收站來。爲此，就要在粒子通過計數器時，用無線電發出訊號。這一點作起來便比較簡單。首批儀器中，訊號是用下述方式傳送的。粒子經過計數器，引起計數器線上電壓的脈衝。這脈衝經電子管放大器放大後，開動繼電器，後者便在很短時間內接上無線電發送器。這樣，計數器中每經過一帶電宇宙線粒子，就同時有一無線電訊號發出來被接收站接到。每單位時間內（如每分鐘內）記錄下來的這種訊號的數目，便決定了在當時計數器所在的高度的宇宙線的強度。

現在需要學會決定儀器所在的高度，再用無線電把高度值傳送到接收站來。爲了解決這問題，維爾諾夫利用氣象的自記氣壓計，將它加以改造，使高度能用無線電傳送下來，同時又不斷傳送計數器工作所得的數據。這一點是用下述方式作成的。

當大氣壓力變化時，氣象的自記氣壓計的指針便沿着有刻度的標尺移動，指示出大氣壓力。維爾諾夫用一排寬度不同的金屬接觸點代替有刻度的標尺。當氣壓計的指針落到某一接觸點上時，第二個宇宙線粒子計數器就開始作用，於是便有兩個計數器開始傳送訊號到以太中。很顯然，通過兩個計數器比通過一個計數器，有兩倍多的粒子；因此每分鐘送到以太中的訊號數，當第二個計數器接上時，要比只一個計數器作用時多一倍。這引到一個什麼結果呢？結果就是：當氣壓計的指針落到

接觸點上時，接收站收到的訊號數便急劇增加；當氣壓計的指針離開接觸點時，計算到的脈衝數便急劇減少。這樣，接收到的無線電訊號在單位時間內的數目劇增便表示在一定時刻氣壓計的指針在接觸點上。

隨着儀器的昇高，在儀器上空的空氣量不斷減少，即壓力不斷減少。因此，表示壓力的氣壓計指針就會從一個接觸點移動到另一個。換句話說，每個接觸點，或更準確些說，每個接觸點的開始和終了，都和一定的大氣壓力相對應，所以也和儀器位置所在的高度相對應。

爲了確定儀器位置所在的高度，只要決定在一定時刻氣壓計的指針是在那一個接觸點上。爲此，所有接觸點的寬度都做成不同的，因此氣壓計指針停留在不同接觸點上的時間也不同，知道了停留的時間，便可以決定儀器所在的高度。

用被氣球帶到高空的自動“實驗室”測量宇宙綫強度的結果，如何由無線電傳送下來，這一問題已經首先爲維爾諾夫研究出來的方法所解決。還需要注意的是：要使全部裝置對宇宙綫的靈敏度在飛行時不變。而這是相當難作到的，因爲在飛行時，這種“飛行實驗室”工作的條件急劇變化着：首先是由於大氣壓力的大大變化（從地面的 760 毫米汞高的壓力到 20—25 公里高空處的 40—20 毫米汞高的壓力）和溫度的急劇降低（從地面的 15—20°C 到同溫層中的 -50°C）。爲了維持不變的溫度，維爾諾夫把他的“實驗室”用一薄層羊毛絮包住，而在“實驗室”裏放上帶着溫度控制器的化學發熱劑。當“實驗室”內部的溫度降到規定以下時，溫度控制器便打開一條使濃硫酸通

到盛有鹼質的容器的通路。硫酸便開始滴進盛鹼質的容器。大家知道，硫酸和鹼化合時放出很多熱。這些熱使“實驗室”溫暖，直至它裏面的溫度達到所需要的限度為止，於是溫度控制器便關掉硫酸到鹼的通路，阻止繼續發熱。

自然，在這小“實驗室”內也有它自己的發電站——小型的酸性蓄電池，來供給無線電放大器和發送器。也有計數器工作所必需的小高壓電池組。全部“實驗室”約重12公斤，容易被橡皮氣球帶到同溫層中很高的高度。圖4示這種“實驗室”飛行中的照像。

這樣，便勝利地解決了第一個問題：創製了研究高空中宇宙射線的方法。這就奠下了所有更進一步工作的基礎，引出了許多很有意思的發現。

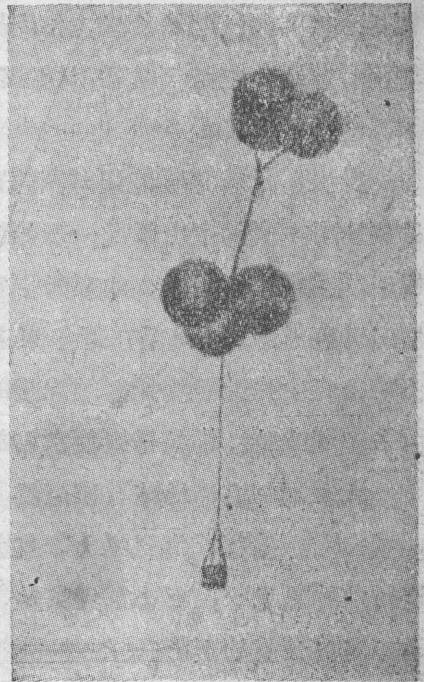


圖4. 飛行中的“飛行實驗室”。

三、宇宙射線緯度效應的研究

現在可以提出第二個問題，它與發現原宇宙射線的性質已經是直接有關。簡單說來，這問題可以如此提出：確定原宇宙射線是什麼，它是不是帶電粒子流？假如是，便決定這些粒子的能量是多少。

從上面說過的斯科貝爾琴的實驗，我們知道，爲了回答關於到達海平面的宇宙線的一個類似問題，曾經利用過放置在磁場中的雲霧室。但是，如果說雲霧室還能帶到同溫層中去（雖然這已經够麻煩，只是在近年來才得實現），那麼便無論如何也不能把產生強大磁場所需的沈重的磁鐵帶上去。因此，在解決第二個問題時，維爾諾夫便求助於自然本身。

大家都知道，地球有個磁場，使羅盤針永遠一端向北，另一端向南。確實，這磁場比起實驗室裏用的，使宇宙線粒子軌道彎曲的磁場來，要小好幾萬倍，但它却延伸到地面的大氣以外好幾萬公里的距離。

如果宇宙射線是帶電粒子流，那麼在地球磁場中，這些粒子的軌道便會大大彎曲。軌道的彎曲甚至會引起這樣的結果：宇宙線粒子根本不能接近地球，走不到大氣的邊上，而離開地球走去。

計算軌道的這種彎曲，結果證明，在赤道區域產生的彎曲最強，在中緯度——次強，而在高緯度，在兩極地區——則十

分弱。從這些計算可以得出結論：如果原宇宙射線由帶電粒子組成，則在赤道區域，它們所受地球磁場的偏轉作用最大，因此，在赤道上它們中只有最小部分能達到地球的大氣。反之，在高緯度，地球磁場的偏轉作用小，因此，幾乎所有原宇宙射線都能達到地球的大氣。不過如果是這樣，赤道上同溫層中的宇宙線強度就應該比緯度相當於列寧格勒處的同溫層中的宇宙線強度小相當多。這樣，在不同的緯度上測量（高空中）宇宙線的強度，便能回答關於原宇宙射線的性質所提出的問題。維爾諾夫使用這樣的方法去找到了第二個問題的答覆。

1936 年，他開始了一循環的緯度研究。利用上述的“飛行實驗室”量出了在列寧格勒區域（北緯 60° ）高空中的宇宙線強度。以後又進行了在耶里溫區域（北緯 40° ）同溫層中宇宙線強度的測量。結果發現，在耶里溫區域高空中的宇宙線強度比列寧格勒附近的要小相當多。1937 年末和 1938 年，繼續在赤道區域進行了這些研究。為進行這些研究，維爾諾夫和一些助手們只好從蘇聯輪船上放出“飛行實驗室”。實驗證明，赤道區域高空中的宇宙線強度比耶里溫區域的還要小。

由維爾諾夫實驗發現的，原宇宙線強度和緯度的顯著關係證明了，原宇宙射線受到地球磁場的強烈作用。從這事實作出了一個重要結論：運動在星際空間的原宇宙射線乃是許多帶電粒子流。此外，這些實驗的結果還使我們可以估計原宇宙線粒子具有的能量的大小。結果發現，原宇宙線粒子的主要部分具有 30—150 億電子伏特的能量¹⁾。

1) 一個電子伏特就是電子被電場作用經過一伏特的電勢差後所得的能量。