

論 宇 宙 輻 射

沈 傳 節¹

Cosmic Radiation

Synopsis

Chuan-tsieh Chen

The present status on the study of cosmic radiation has been generally discussed. The various methods on the observation of cosmic radiation have been given in the first part of the paper and their results have also been presented. The second part gave the nature and intensity of the neutron radiation which obtained through the experiments under photographic emulsions. The last part covered the discussions on the variation of cosmic radiation in relation to the meteorological factors. These studies had shown with relations independent to the pressure element and the chance of decay showed an increase with the increase of temperature. The variation cosmic radiation has a periodic phenomenon of 27 days cycle. Some graphs from authoritative authors showing the variation of cosmic ray intensity in relation to solar flares and magnetic disturbances effects have also been presented.

一、原始輻射的性質

原始的宇宙輻射 (Primary radiation) 主要由質子組成，並有相當多量的 α 質點，小部份則為較高原子序數的原子核。大氣層外原始輻射質點在地磁場中循弧線路徑發射，並不受週圍環境的影響。另一方面，在大氣層內的原輻射質點則又循直線路徑發射而與大氣產生相互交感作用，發生能量較低的次宇宙射線。因之大氣層中實雜有原始宇宙射線及次宇宙射線，其比例則隨高度而異。

氣球與火箭在當前已被普遍運用為探測宇宙射線原始輻射的工具，茲分述如下：

氣球探測 迄今由於運用雲室(Cloud chambers)，賽倫考夫及輻射次數計數器 (Cerenkov and scintillation counters)、照相感光片與比例計數器望遠鏡 (Proportional counter telescopes) 等工具在研究原始輻射組成上已完成了許多深入的工作；在許多不同的實驗中已獲致有主要的結論，在任何緯度 α 質點在原始輻射中佔 10%~15%，較重的原子核約佔 1% 至 2%，超過此項標準者很少。至其對於剩餘大氣所引起的效應，則仍牽涉到許多特殊問題，主要的例如在原輻射中有無鋰、鈹、和硼等原子核的存在等。

火箭探測 Perlow 氏曾以比例計數器望遠鏡裝置於火箭中以測定原始輻射游離作用的分佈狀態；他在新墨西哥州的白沙鎮測得質子- α 比為 5.3；Van Allen 氏亦用全定向脈震游離子腔(Omnidirectional pulse ion chamber)測定重原輻射流量(The flux

of heavy primaries)的上限為 Z 3. Yagoda 氏並曾提供照相乳融(Photographic emulsion)方法以偵測極端重原輻射(Extremely heavy primaries)。

測定重原輻射電荷譜 (Charge spectrum) 主要之困難為其強度太弱致影響觀測統計之資料，此外在氣球實驗中所需推斷大氣頂層之流量(Extrapolate flux figures)更感到特殊的困難。例如流量為 $Z > 0$ 時大氣平均自由徑道 (Mean free path) 為 19 g cm^{-2} ，此時每毫巴的流量變化為 5%，因此須引用絕對正確氣壓高度觀測值的氣球。另一困難為當原子核進入各種不同的天頂角橫切各種不同厚度的大氣層時，其較重的核子易起游離作用而損耗，但一部份即停留於大氣之頂層。又鋰、鈹、硼族元素在大氣層中尚有粉碎作用 (Fragmentation) 的問題，因重核和大氣分子撞擊後將分裂生成較小的物質包括鋰、鈹、硼等核子。在氣球上升高度的範圍，鋰、鈹、硼族的存在固可測得，但吾人却很難斷定其原始輻射核子的含量。

(1) 質子的能譜

測定質子、 α 質點以及能量超過 50 Bev. 的重核能譜 (Energy spectrum) 可有助於試驗宇宙射線來源的探討。但其困難在於此高能原始輻射的強度太低，測定方法不易，質子的能量在 $10^3 \sim 10^4$ Bev. 時，其測定法一般係依據原子核交互作用的觀測，又質子的能量可決定於 π^0 介子 (π^0 mesons) 衰變時所起的軟性成分核子的乘量 (Multiplication)。照相乳融法在高空可測得原始輻射質子積流量的能量超過 1.6×10^3 Bev. 值者，質子與 α 質點的比值為 9。

1. 本文沈傳節氏係以英文寫成，由鄭倫彬譯成中文，並蒙鄭子政氏將譯稿詳予審查修正。

不列士多社團(Bristol group)由核乳融(Nuclear emulsions)法在高能的星點(Stars)中測得衝擊質子(Knock-on protons)；渠等初步工作自重核、銀、溴中析出碳、氮、氧族的星點；然後碳、氮、氧族的角分佈(Angular distribution)也粗可決定。質子的能譜如圖1所示：

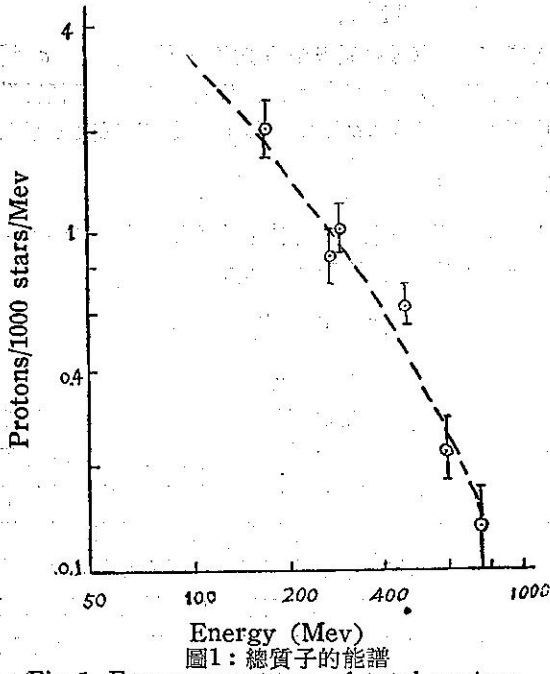


圖1：總質子的能譜

凱伯倫(Kiplon)和李遜(Ritson)氏會以照相乳融法測定 α 質點與重原輻射的能譜，在他們的實驗中會把重核粉碎作用所生的 α 質點的開角(Opening angle)加以測定，在CM系統中這些質點均作同位放射，因之即可估計重原輻射的個別能量。其能譜可以下式表之：

$$N = AE^{-(1.45)}$$

在較高能量時這些半直接的方法即難適用。因為原始輻射質點的密度過低因直接觀測的方法無法應用。原始輻射核數其能量大於 10^7 Bev. 時在大氣層頂每平方公尺發現的機會約為每五年一次。雖然由於它們能產生廣大的輻射雨(Extensive shower)故可用空氣射叢濾清器(Air shower defecator)觀測。巴雷(Barrett)氏測定原始輻射強度為 $10^8 \sim 10^7$ Bev. 以上。葛蘭夏(Cranshaw)和羅西(Rossi)氏則測定其值達 10^9 Bev.。其能譜則見圖2。

(2) α 原輻射質點的能譜

若每一核子在一個總能量或以速度為基點時則較重的原始輻射恒有一個相似的能譜， α 質點每位於一

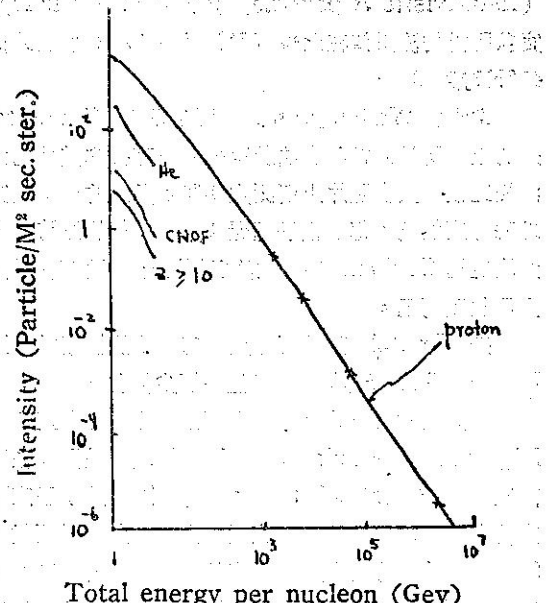


圖2：質子的能譜

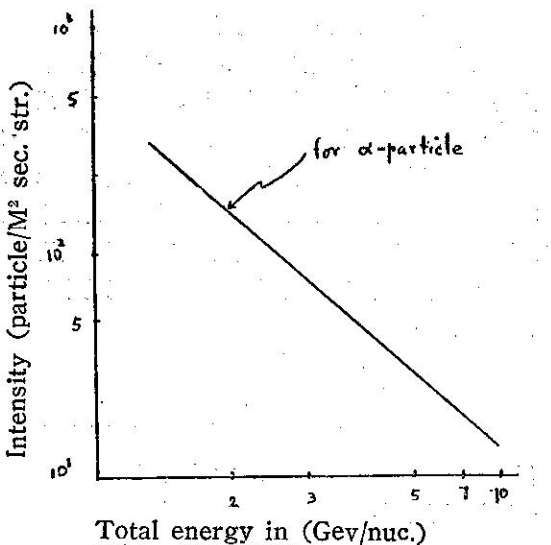


圖3： α 質點的能譜

個整一的位置如圖3，而不受到吸收或鑑識作用(Absorption and identification)問題的影響，此可用各種不同的計數技術或採用照相乳融法測得之，且其含量頗多，可達足以和質子能譜統計比較的程度。麥唐納(McDonald)氏會用複合閃爍計數器及Cerenkov賽倫諾夫計數器測定 α 質點能譜的能量為每核點在 $1.2 \sim 1.8$ Gev. 間，此種複合計數器最適於測定 α 質點流量之用，賽倫諾夫(Cerenkov)計數器可有效的自緩慢質子(Slow pretsns)辨別在閃爍計數器中因游離作用而起損耗的相對 α 質點

(Relativistic α particle) 麥唐納 (McDonald) 實驗所得的流量值在北緯 55°N 時為 292 而在北緯 41°N 時為 88。

韋定敦(Waddington)氏在明尼蘇達(Minnesota) 州的上空所用照相乳融法所得結果可直接和其他的觀測相比較，其在照片上所測定個體 α 質點的能量證實地磁緯度無關，每個核子超過 3 Gev. 的能量時其動量決定用 Coulomb 跡擴散法已難可靠，而僅得示其上層限度而已。

按 Bristol 實驗紀錄證實每核總能量指數超過 $E_t = 10^3$ Gev. 時其 α 質點能譜極少變化。

麥克侶 (McClure) 氏應用高壓脈震游子室 (High pressure pulse ion chamber) 並配置在垂直望遠鏡 (Vertical telescope) 中，此游子室下方裝有 4 公分厚的鉛版吸收器，由一承受輻射雨盤 (Shower tray) 附裝 7 個直徑微小的蓋氏計數器 (Geiger counter) 以偵測高空產生的輻射雨，紀錄不同脈震的高度，並可分析脈震中相對 α 質點。

(3) 原始輻射電子、中子和 γ 線的觀測

麥勞 (Perlow) 氏指出大氣層外能流量中其 0.1% 係屬 γ 線的形態。葛立去非 (Critchfield) 氏又以 1% 為原始輻射電子上層的極限。貝士達 (Bergstrahl) 氏曾以氣球探測原始輻射高速中子 (Fast neutrons) 的發生地，但無結果，因為所測得的中子概屬再次輻射產物。原始輻射中子生存期極短，可能發源於太陽附近而類似光以直線進行，太陽的中子則有晝與夜不同的效應。

二、中子輻射的性質

由照相乳融作用中宇宙輻射大部份所生的星點，係由於能量在 100~1000 Mev. 的中子所形成。假定一群星點發生的截面與原子核 a 的幾何截面成比例。設一原子核質量數為 A，核半徑為 r，則

$$r = r_0 A^{1/3} \quad r_0 = 10^{-13} \text{ cm.}$$

其能量平均自由徑道 (Free path) 為 $\lambda = \frac{1}{na}$

上式 n 為每單位質量的核數， $u = \frac{N_0}{A}$ ， N_0 為艾美加多 (Avogadro) 氏值，則

$$\lambda = \frac{A}{N_0 \pi r_0^2}$$

在大氣中 $\lambda_{air} = 130\text{gm/cm}^2$ ，在鉛中 $\lambda_{lead} = 310\text{gm/cm}^2$

由下述假設可求得中子輻射之較差 (Range)，

星點密度係列入對數比例尺而與鉛質吸收器的厚度相比照，當星點密度在鉛質吸收器厚度為零時作為單位，而其曲線形態則屬指數式。其平均較差空氣為 150 gm/cm²，鉛體為 310 gm/cm²。

估計中子的密度，其較差在性質不同的物質中為：

$$\lambda_n = \frac{1}{ZN_a \sigma_a}$$

上式 N_a 為每單位質量中原子序 A 的原子數， σ_a 為撞擊截面， $\sigma_a = \pi r_0^2 A$ ，原始輻射較差在原子核乳融中為： $\lambda_E = 200 \text{ gm/cm}^2 = 50 \text{ cm.}$ ，當每日每 c.c. 星點密度 I 為： $I = \frac{S}{\lambda_E}$ 或 $S = I \lambda_E$

上式中 S 為每日經過每平方厘米面積的中子質點數，在海平面時 S 約為 75/cm²/day.

三、因天氣的變異

(1) 溫度與氣壓的效應

大氣層中一高度的輻射強度須視當時的大氣的性質而定。其硬性成分係由在相當高度所生的 μ -介子 (mu-mesons) 所組成，在其向下途徑中在達海面之前，輻射即生衰變作用或被大氣所吸收。其衰變機會常自其產層次經過之距離增加而與氣壓不生關係，其衰變機會隨氣溫增加而增加。輻射發生層次之氣溫變化等如海面氣溫之變動，且近發生層次的氣壓亦可能增加，此種狀態將抬高發生層次的高度而增加其因衰變作用所起的損耗。

於衰變前，在核子撞擊中 π -介子 (Pions) 已被吸收，此或由於發生層次氣壓較高所致，因此吾人假想硬性成分之密度減少。杜伯里 (Duperier 1944) 氏曾發見氣壓每增 1 cm. 水銀柱，將減少 μ -介子密度達 3.45%。

杜爾拜 (Dolbear) 和伊里亞 (Elliot) (1951) 兩氏曾研究 μ -介子 (muon) 強度變化季節的變異，其研究的成果乃在康士坦士 (Constance) 湖 120 呎深處測得 μ -介子季節變異，證實宇宙輻射線最大強度在於夏季，就此亦可說明宇宙射線對於溫度效應是屬於正比的。見附圖 4。

(2) 太陽閃光效應

民國三十一年 (1942) 二月二十八日太陽黑子達於高潮，無線電信交通遭受干擾，其原因由於當日中午至下午三時二十五分發生太陽爆炸閃光 (Solar flare) 所招致。許多測站在下午二時均測得宇宙射線有突增的現象，並持續數小時之久，其狀況見附圖 5。

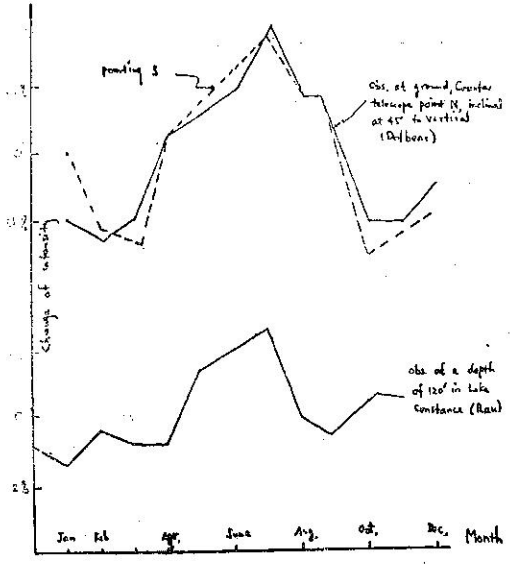


圖4： μ -介子的季節變異

Fig 4. The Seasonal variation of intensity of the muon component

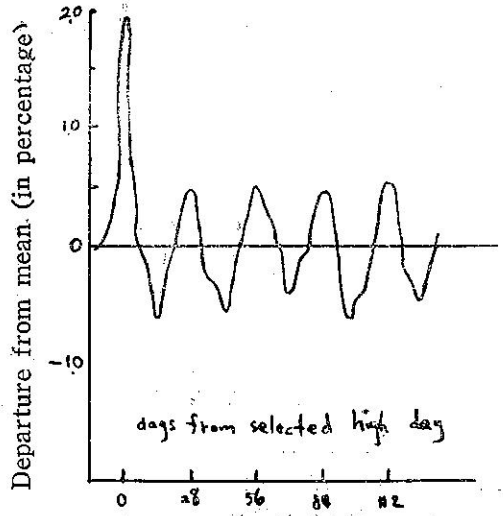


圖6：宇宙射線27日週期變化

Fig 6. 27-day recurrence in cosmic ray variation

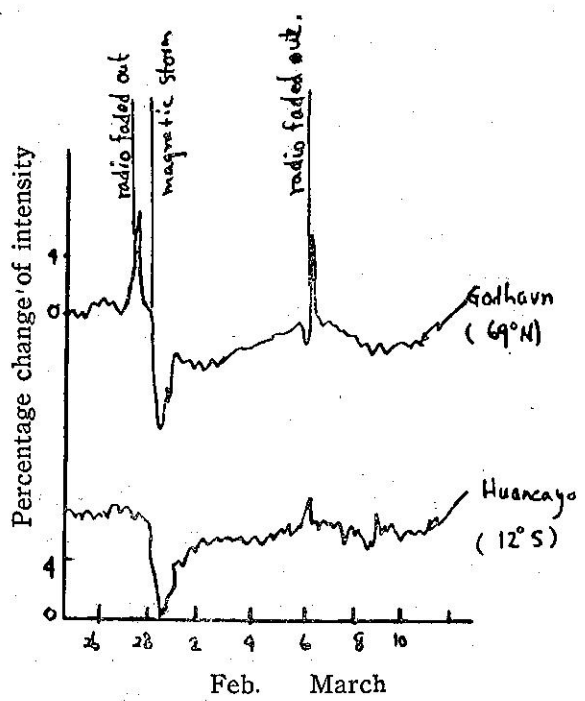


圖5：宇宙射線的太陽閃光效應

Fig 5. Changes in intensity of cosmic rays related with solar flares.

又一次太陽閃光發生於民國三十八年(1949)十一月十九日，此次亦引起宇宙射線突增的現象，在吉蘭且海姆(Cheltenham)地方此電離成分的強度增至40%，在渥太瓦(Ottawa)增至7.5%但位於地磁

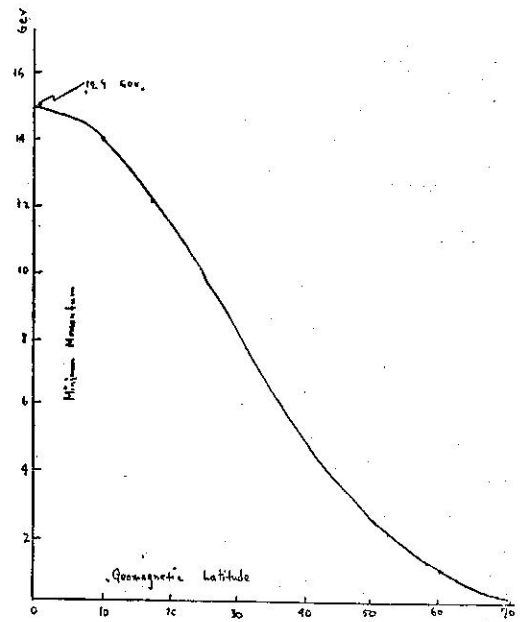


圖7：帶有正電荷質點的最小動量以垂直方向進入不同地磁緯度狀況

Fig 7. Min. momentum for positive charged particles to enter in the vertical direction at different geomagnetic latitudes.

赤道鄰近的宛卡夏(Huancayo)站則無變化現象。

(3)27日的週期

宇宙射線的27~28日週期變化顯示如附圖6，此現象係由蒙耿(Monk)和康伯敦(Compton)兩氏所創見，在兩個最高峯間的變化頗為緩慢近似調和曲