

粒子物理的几个方面

美国科学家韦斯科夫学术报告纪录稿

南京大学革命委员会

一九七三年七月

关于粒子物理

李斯 科夫

我当简略地谈谈粒子物理学中当前的一些观念。粒子物理和别的物理一个区别在于激发能与质量能之比不同。对于原子，激发能 $\approx$ 几个电子伏，电子质量能 $=0.5$ 兆电子伏所以

$$\frac{\text{激发能}}{\text{质量能}} \approx 10^{-5}$$

在原子核中，激发能在兆电子伏数量级，而质量能 ≈ 1000 兆电子伏所以

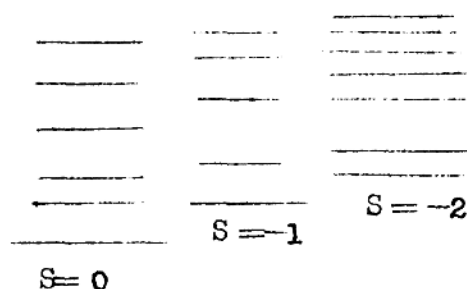
$$\frac{\text{激发能}}{\text{质量能}} \approx 10^{-3}$$

在粒子中，你们知道激发能 ≈ 500 兆电子伏或更多一些，所以

$$\frac{\text{激发能}}{\text{质量能}} \approx 1$$

这使整个现象、思考方式，理论方案和实验方法完全不同。不同在那里呢？主要在于若粒子内部有能量变化，就可以产生“对”。因为产生“对”所需的能量是同一数量级的。于是，在粒子物理中，粒子数这个概念是并不顶有用的。例如，我们知道氢原子是由质子和电子组成的。但是即使暂时认为层子理论是正确的，我们也不能就说质子是由3个层子构成的，而是应当认为是由3个层子再加上 n 对层子组成的。而这就引入了一个完全不同的现象，下面我将谈到这点。

我用层子这个名字，因为层子比“夸克”好得多，它是一个很合适的名字。你们知道质子谱为：



S 是奇异数。能级愈向上愈密。我们相信（虽然有很大问题）能级密度是指数上升的。这虽然可能有问题，但看来很可能是这样的。按层子模型这是可以很简单地理解的。因为先可以设想一质子里有 3 个层子，现在我们给它增加能量，这意味着除 3 个层子外又增加了 n 对层子， $n = \frac{E}{2m}$ 。这 n 对层子，由于自旋就可以组成许多状态。那么有多少状态呢？你们知道有三种自旋：自旋，同位旋，奇异旋。所以可能的状态数为 3^n 。于是能级密度

$$\rho = 3^n = 3^{\frac{E}{2m}}$$

这和

$$\rho = e^{KE}$$

相一致。所以我们可以从产生“对”很简单地解释能级密度按 E 的指数上升的规律。

层子的质量有多大呢？与实验符合的最好的层子有效质量 $M \approx \frac{M_p}{3}$ 因为它能够给出正确的磁矩和正确的能级间距。这个质量约为几百个兆电子伏，所以它是合理的。如上所述若把能量加给质子，就会产生“对”，这显然与平常的物质是不一样的。如果真是这样，那就出现一个非常有趣的情况。平常的固体或分子若给它们增加能量就会使它们的动能增加，但给质子增加能量却产生“对”，这意味着质子的动能是不增加的，动能总是 M 的数量级。因为从统计力学我们知道 $E_k \approx M$ 我们从统计力学知道能级密度是按指数规律上升的，所

以就有 $kT_{max} = \frac{1}{K}$, K 是 e^{KE} 中的 N , 所以动能不增加就意味着温度不升高, 也就是说质子的温度不能高于这个温度。这种增加能量的结果只是产生“对”而不升高温度的现象, 称为真熔化。正象把固体加热, 固体熔化了但温度不升高的情形一样。于是 $m = 2\gamma$ 是宇宙的最高温度, 宇宙不可能有比这个温度更高的温度了。如真是如此, 那对宇宙学是很重要的。所以这是粒子物理中很有趣味的课题。但这是不能十分当真的, 因为它是从层子理论来的, 也许层子理论是错误的。但我们还有别的证据。在质子——质子或质子——重子高能碰撞时, 人们观察在垂直方向飞出来的粒子, 它们所带的动量很小, 只有 $0.3 \text{ GeV}/c$, 或许我们可以用垂直方向的运动来量度内部动能。因为入射粒子的动量在入射方向, 不在垂直方向, 因此垂直方向的动量是内部运动的动量。从内部动量就可得内部动能为:

$$0.3 \text{ GeV} \approx kT$$

这是很小的, 这又表示不管能量提到多少, 宇宙温度相应的总是很小的, 0.3 GeV

现在我报告一些最近作出的新的实验结果。

(1) MIT-SLAC 的深度 $e-p$ 散射。

人们测量了散射电子的偏转角, 电子能量和动量等。由于下述结果, 对这个实验结果的分析是十分有趣的。

我所说的结果是指这个实验可以用层子理论作如下的介释: 这个实验只能用质子中的电荷集中在很小的点子上来说明, 即层子是点子。这很象卢瑟福在 1911 年所做的 α 粒子在原子上的散射实验, 卢瑟福从 α 的偏转证明原子中的正电荷是集中在原子核上面的。MIT-SLAC 实验也显示出质子中的电荷也是集中在几个小部分上的。即层子上的。对这个实验仔细分析表明质子中不止只有 3 个层子而是有许多个层子。层子的分布近似地为: dx 上的层子数 $N_{st} dx$ 差不多等于 $\frac{dx}{x}$,

即 $N_{st} dx \sim \frac{dx}{x}$

其中 $x = P_0/p$ ，(P_0 是质子质量， p 是质子总动量)。所以质子看来像是由许多层子组成的，它们之间分享，前边走得慢些，动量之比将近为 $\frac{dx}{x}$ ，这足以解释实验现象的，这是对实验的解释，但不能说这是实验的结果。因为我们只是根据层子理论所得的结论。如果用别的假设，也就可以得到别的结论。分析实验当然还得到下列的一些结论，其中之一是层子的自旋为 $\frac{1}{2}$ 。现在让我用层子模型来对上述情况作些解释，下面我将用类似于 Weizsacker 和 Williams 的方法。为此，先考虑电子的情形。假定电子以高速前进，我们知道电子的电磁场可以用光子的运动来描述。光子的能量是 $h\nu$ ，动量 $h\nu/c$ ，而在 dx 中的光子数为

$$N_{ph} dx = \frac{e^2}{hc} \frac{dx}{x}$$

其中 $x = p/p_e$ ， p_e 是电子的动量。这就是 Weizsacker—Williams 方法。因此光子总数为

$$N_{ph} = \int N_{ph} dx = \frac{e^2}{hc} \log \frac{p}{m_e}$$

m_e 是电子质量。现在回到质子情形。此时不是电磁场而是胶子场，所谓胶子场就是两个层子之间的场。胶子场使层子相互吸引。至此你们就可以理解 MIT—SLAC 实验中有 $N_{st} dx \sim \frac{dx}{x}$ 了，因为两者是一样的。那里 $\frac{e^2}{hc} = \frac{1}{137}$ ，而现在的耦合常数是 1。如果耦合常数为 1，则这时将有一重要效应：每个胶子（它与光子相似）被一对层子所包围，如果见有一个胶子必有一对层子伴着，因为这时是强合。这里我仍假设每个质子具有三个层子，沿着某方向前进。如果每个层子带着一个胶子场，这个场也沿着此方向前进，按上所说这种场总是被层子反层子，层子反层子，层子反层子包围着，其动量分布就是所观察到的分布，因为层子反层子的总数是动量的对数。另外，在质子—质子对撞实验中所见到的介子也随能量对数地增加的。

这是因为层子反层子总是成对地转变为介子的，所以介子数也随动量的对数上升。因此依据这种假设，当电子打到质子上我们应当能够看到有层子被打出来，但实验上并未见到，这是很难理解的。这一点在这个理论中就很难用强耦合来解释。反之，如果是强耦合，则这个理论就不难确信。虽则现今耦合常数1，不是最强的耦合，但比起 $1/137$ 要强。所以如果有几个GeV的能量，在此耦合常数下应当可以把层子释放出来，而实验上却未见有自由层子，至今还不知道这是什么原因。也许层子理论只是一半真理，不是完全的真理。现在我讲第二个实验。

(2) 自由散射 CEA

这是 $2-3\text{GeV}$ 的 e^+ 和 e^- 对撞实验。对撞时见有强子——介子产生。按层子理论，产生强子的截面应等于所产生新粒子对的截面的 $\frac{2}{3}$ 倍。为什么呢？因为电子产生层子对，而层子对变为 π 介子。之所以是 $\frac{2}{3}$ ，这是因为它是电荷平方的和，

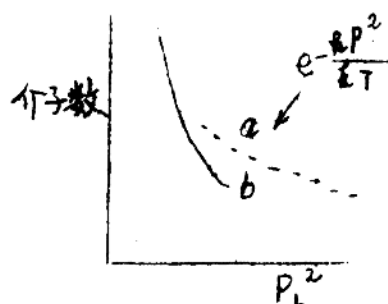
$$\left(\frac{1}{3}\right)^2 + \left(\frac{1}{3}\right)^2 + \left(\frac{2}{3}\right)^2 = \frac{2}{3}$$

这是理论的结果。但在实验结果发现它是6，比层子理论估计的要大十倍，这对层子理论很不利。并且甚至并不和 σ 成正比例。所以这有一个大问题。所以如我说层子理论只是一半的真理，这犹如在1913年玻尔的轨道量子理论，在当时也只是一半真理。因为当时玻尔理论可以把有些东西说明得很好，但没有人能解释为什么有些轨道是禁戒的而对别的东西这个理论又不行。层子理论也正处在这样的状态。这表表明一些非常新的，非常不同的东西正要出现。如果层子理论失败，我们不必高兴。相反的，这里还有一些我未讲到的复杂情况。现在谈第三个实验。

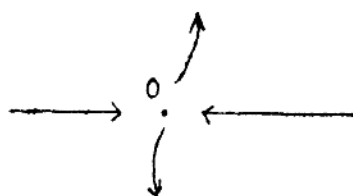
(3) 在ISR 的新的实验

ISR是在Geneva 的CERN 的交叉储存环。

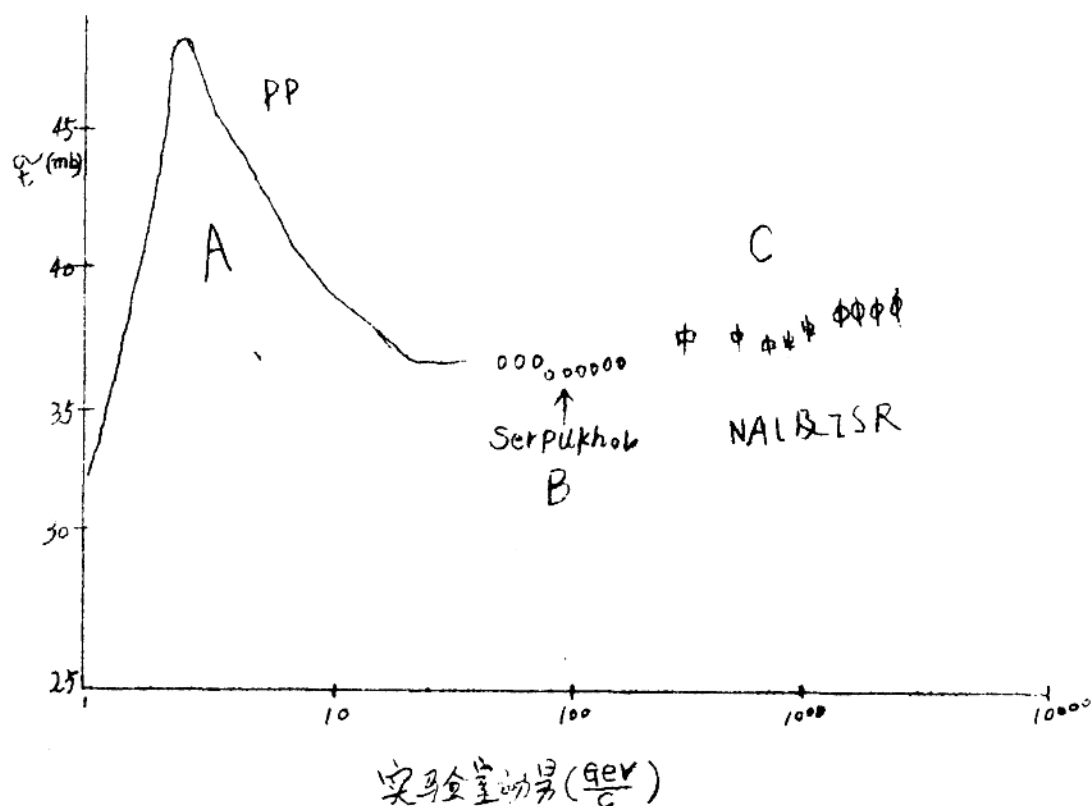
这是最近代的仪器。现在欧洲已比美国先进了。这是一个很好的例子，将来中国会超过美国和欧洲。我曾在CERN当过五年所长。因为我是半欧洲人、半美国人。他们在实验中测量了垂直方向的介子动量。前面我曾讲过它是低的 ($0.3 \text{ GeV}/c$)。他们的结果如图。横坐标是垂直动量平方。纵坐标代表强度，即介子数。如图那样介子数指数地下降下来，而这正好是随温度变化的麦克斯韦分布。实际上应当像图上虚线a所示那样，才表示真有麦克斯韦温度存在。但实验中看到的却是像b那样，它是随 $p_{\perp}^{-n}$ 下降的， n 在 $6-8$ 之间，不很肯定。换言之，那个温度有一部分偏离很利害，这可以作如下的假设：如果在这里有全部的层子和反层子，而当一个层子来到0点，另外一个层子也来到0点，就会发生卢瑟福散射，层子间的



卢瑟福散射，是胶子场而不是电磁场。你们可以计算，如果这是由于电磁相互作用而发生的散射则结果是小了。这里的散射要比电磁相互作用的散射高出 100 倍。因此从这里又得到耦合常数比电磁场的耦合常数 $1/137$ 大 100 倍左右而为 1 。也许这仍然只是一种假设，也许在这里我们看到了层子之间的胶子场的卢瑟福散射。



(4) ISR CERN pp 散射的总截面



σ_T 是总截面。你们也许知道这个实验。在这里我把它画成了曲线，横坐标是 $\log \frac{E_L}{c}$ ， E_L 是实验室坐标系的能量。它的变化情形如图所示。A 是低能区，B 是 Serpukhov 区，C 是很高能量区，即 ISR 新得的数据范围，现在我来谈谈这个区域的情况。新的数据表明曲线是上升的，这对有些人是非常奇怪的，当然也不会使所有人都感到奇怪。理论者常常是错的，他们原认为 C 区域不会上升的，但自然界是有趣的，曲线却向上走了。问题是该怎么来理解？我想这也是可以介释的。我想给你们讲一个海森堡很久以前的介释，这个介释虽然是很早以前的事，但它早就预计到了现在的情形。海森堡的介释如下：

设层子的密度分布是 r 的函数:

$$\rho = e^{-\mu r}$$

即 Yukawa 分布, 也许还有¹这个因子。 μ 是层子的质量, 象这一类关系可以用质量分布来证明。设两个层子间的相互作用与层子的能量成正比

$$I \sim E$$

I 为相互作用能量, E 是层子能量。这里是因为如果层子有自旋¹, 胶子场像电磁场那样是矢量场, 则相互作用是与能量成正比的。考虑了质量分布, 则在短距离 r 内相互作用应是

$$I \sim E e^{-\mu r}$$

令相互作用半径为 R , 即观察到的相互作用半径, 则 $I(R)$ 有确定的值 $I(R) = I_0$ 。当相互作用大于 I_0 则将见有相互作用, 若小于 I_0 就见不到有相互作用。于是 I_0 是决定质子半径的相互作用。于是我们有

$$-\mu R = \log I_0 - \log E$$

于是 R 与 $\log E$ 成正比。而截面

$$\sim \infty R^2$$

或 $\sim (\log E)^2$

就是说与 $(\log E)^2$ 成正比, 这正是实验室所见的。当然我们不知道为什么是 $(\log E)^2$, 也许当能量更高时可能是别的函数。

现在关于理论物理学家讲几句话。我这里所讲的是减去数学的理论物理。我把数学都删去了。平常理论物理全是数学, 但数学只使所讲的盖上一层云雾, 使人看不见重要的东西, 因为我这里所讲的全是场论。当你读“物理评论”上的文章时, 这种问题全是数学公式, 你看不见其本质的东西。现在当然我们还很难用现有的场论来处理一些事情, 数学上就很难处理。我们实际上还不知道怎样来处理, 所以我们是处在很困难的地位。但目前我们只有场论, 这是我们唯一用
对于 $\frac{e^2}{4\pi}$ 为 1 的场论。

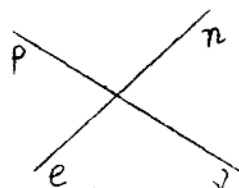
于说话的语言。我们不知道这是否是自然界的语言。我们试用这种场论语言来同自然界讲话，这正像我用英语同你们讲话一样。我相信自然界的语言实际上是不同的，将来我们必须理解它的

现在略讲另一个问题。(我讲到10点钟，而后让 Sachs 讲) 谈谈互作用问题。我们现在有(1)强相互作用。强相互作用或许是层子层子之间的互作用，胶子相互作用，当然是有问号的。其次(2)电磁相互作用。电磁相互作用我们清楚了，也就是说我们懂得了。我想我们是懂得的，但也许我们还是不懂的。这里我应该讲一个大问题，即 μ 介子问题。什么是 μ 介子？没有理由说 μ 介子是存在的。 μ 介子只不过是电子的激发状态，而电磁理论并不给出电子有激发状态。所以这也是一个问号。更其次(3)弱相互作用。我不谈万有引力相互作用。也许应当讲到它才是正确的，但我不知道。当然弱相互作用是高能物理中较有兴趣的现象题，因为弱相互作用曾引起许多惊人的东西，如：

1. 宇称不守恒
2. 两种中微子
3. CP 不守恒

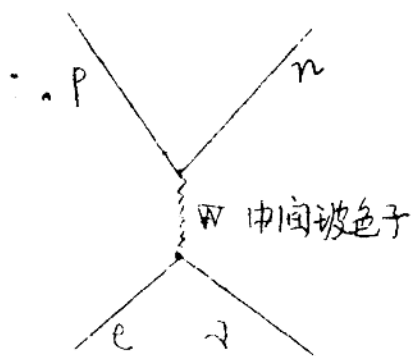
这个问题 Sachs 会讲。但我要讲弱相互作用的另一方面。其实我们并不真正懂得弱相互作用，因为像图

上的弱相互作用是四根线之间的相互作用。我们知道这种相互作用实际上不是这样的，因为依场论，这将与能



量平方成正比，而如果在质心系中能量达300 GeV 则截面就变为太大，么正性遭到破坏。在 GeV 能量，走出去的粒子比粒子走进来的多。所以截面太大，因为截面基本上等于无穷大了，所以这个理论一定错的。你们也知道，人们曾建议中间玻色子理论。

如果引用了中间玻色子，则困难就可以解决了，也没有公正性方面的困难了。但是你们知道它是一个十分复杂的理论。因为 W 是荷电的，我们不能用电磁场的重整化方法，所以仍然存在着困难。这种理论似



乎与电磁理论相仿。有一些相似的地方但也有复杂的地方，因前者存在一些泡泡。最近 Weinberg 等曾建议建立一个把两者统一起来的理论，它们的基础是很相似的。理论很复杂，我没有很多时间来讲述它。这里我写了一篇没有数学公式的关于这种统一处理的短文。我应该着重指出一点：如果引进了中间玻色子，则耦合常数是

这是 W 和粒子之间的耦合常数。而耦合常数

是光子和电子的耦合常数。在四根线，直接耦合中，所观察到的耦合常数是 G ，它等于

$$G = \frac{g^2}{4\pi\hbar c} \frac{1}{M_W^2} = 10^{-5}$$

M_W 是中间玻色子的质量， g 是比例于 M_W^2 的。中间玻色子质量愈大，其平方愈大。而在电磁相互作用和弱相互作用的统一理论中耦合常数是相等的，

$$g^2 = e^2$$

由此得到 $M_W \sim 50 \text{ GeV}$

于是如果电磁相互作用和弱相互作用之间确实存在着这种关系，则 50 GeV 将是一个很重要的能量，而如果我们达到 50 GeV 则电磁相互作用和弱相互作用将混合在一起了。这一点十分有趣，所以 Weinberg 理论所说的 $W^\pm, Z^0$ （ Z^0 第四种粒子，不带

电的)。这四种粒子是一个场的四个分量，这个场分成四个分量，即假定电磁和弱相互作用是同一现象的两个方面。如果到达这个能量或更高，则两者强度将相等且结合起来。从这点看来到达 $100-100$ GeV 的高能是非常有趣的。这个理论可能是错的，但我们相信如果达到这样能量将会出有趣的新的现象。这种新现象是和弱相互作用有关的，而跟低能时的情形完全不同的。也许这时电磁相互作用^{也和低能时的情形}不同了。因此这是很重要的能量。我希望十年内中国有 $100-100$ GeV 的加速器。因为这将是十分有趣的。

现在我将讲到最后，总结起来：

第一，我可以解决强相互作用很重要，因为可能这是介决质子和质子之间核力的关键所在。我现在讲量子宝塔：

分子——原子——原子核——核子——层子——

分子中原子间的力程是在埃^A数量级(10^{-8} 厘米)结合能是几个电子伏。原子中是库仑力 ^{e^2} 起作用。原子中库伦力是基本的，分子力是由它构成的。

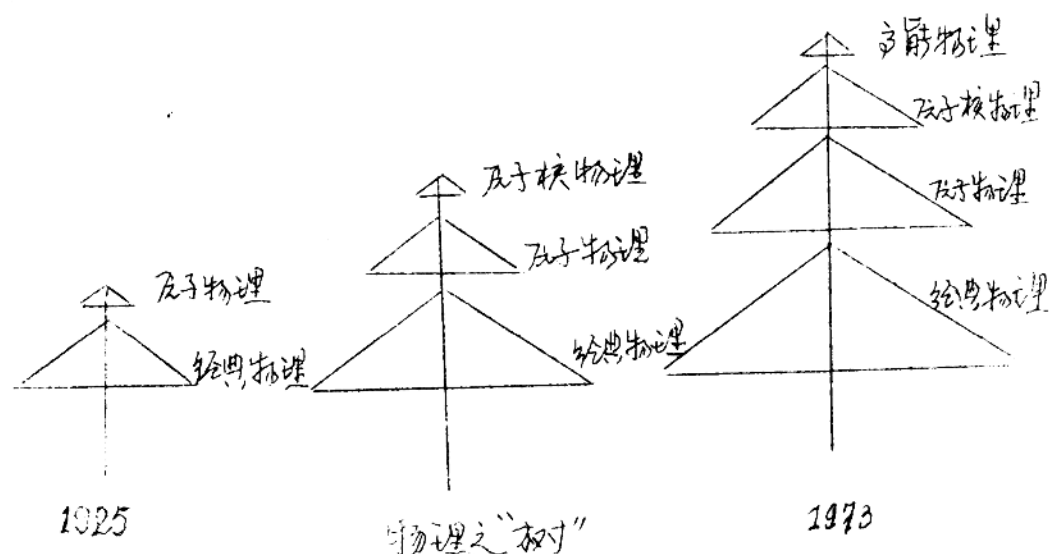
在原子核里，核子结合在一起。这里起作用的距离不是埃而是费米(10^{-13} 厘米)。结合能量则为 10 meV 左右。核子中层子结合在一起，这里是胶子场，这种场我们还不知道。

这里胶子场是基本的。可以用它来解释核力。我们知道弱耦合 $g^2/4e$ 是小的，对耦合常数 $\frac{g^2}{4e} \sim 1$

的情形很复杂我们不知道场论是否还适用。强相互作用的介决就可以给出核力。末了我说几句关于高能物理方面的话。我想粒子物理最重要的方面是发现新现象。这是我们发现自然界有许多新现象的粒子物理学，人们从前都不知道介子奇异性、 μ 介子、粒子反粒子等意味着什么。我们有着完全不同的形式的自然界。我认为这是粒子物理中最重要的方面，我们发现了一个新的世界，而这个世界在五十年后也许非常有用。

第二件事情我要讲的是在高能物理中最重要的^是是工程人员，其次实

验物理学家，而后是理论物理学家。因为常常是新的仪器建成之后，新的发现就会出现，而理论学家不能正确地解释。例如1952年芝加哥建立了400MeV的加速器，费米发现了 Δ 超子，你们知道 Δ 是质子的第一个激发态。而后同步回旋加速器，电子感应，AGS，PS建立了起来，接着反质子，SU两种中微子 μ ， ν 等许多东西被发现了。人们还发现了介子谱，重子谱，介子的整个激发谱，现在我们有ISR和SLAC，我可以说在SLAC上人们发现了点状的层子，而在ISR上则发现了我所讲的新的现象。所以总是高能加速器在前开路，我希望不久将来会得到几百GeV的P-P和e-P碰撞实验，使我们进入我前面所讨论的有趣的领域。所以我相信高能物理是物理学的矛头。我这里画着一棵称为物理的树向旁边伸出的树枝相



当于各种应用：技术上的应用，科学上的应用等等。例如原子物理发展后有着技术上的应用、地质上的，生物学上的等等方面的应用。原子核物理也是如此，原子核物理现在有核动力，放射性示踪元素，天体物理医学上考古学等方面有许多应用。在今天，1973年，高能

物理是“树”顶。但在1925年，“树”顶是原子物理。在那个时候，人们还说原子物理只能是理论物理，它没有什么实际的应用。而后来“树”顶是原子核物理。当年卢瑟福也曾说过原子核物理只能是理论的，没有用处的。而现在呢？

On Particle Physics

V.F. Weisskopf
1973.6.4.

I would like in very short words to describe the present ideas in particles physics. One of the differences of particle physics and other physics is the following that the ratio between the excitation energies and mass energies. For the atoms, the excitation energy is of the order of a few volts and the mass energy in the case of the electron is half a million volts. So this is

$$\Delta / MC^2 \sim 10^{-5}$$

In the nucleus the excitation energy is of the order of a million volts or so and the mass energy is of the order of thousand million volts. So

$$\Delta / MC^2 \sim 10^{-3}$$

and in the nucleon you know the nucleon has the excitation energy of five hundred million volts or more, so

$$\Delta / MC^2 \sim 1$$

and this makes the very important difference in the whole phenomena, in the thinking, in the theory and in the experiment. What's the difference? The difference is that one ever in any internal energy exchange inside the nucleon, one can create pairs because the energy is of the same order as the mass. So pairs can be created and therefore the concept of number of particles is not very applicable in particle physics. For example, the hydrogen atom consists of two particles, proton and electron, but the proton, if you assume for moment that the proton theory is

right. I use the word straton (St.) because it is very much better than quark, it is a much nicer name. and if you apply the straton theory one can not say really that the proton consists of three stratons. It consists of three stratons plus n pairs and that brings in a very different aspect, I would like to speak about one aspect:

I. You know the spectrum of the proton is:

This is the strangeness zero, the strangeness -1 and so on and it seems that the spectrum goes on and on and becomes denser and denser and we believe (although it is a big question mark) that the level density is an exponential, e^{KE} but this is questionable, but it looks that way. Now we can understand this level density very simply from the straton model. Because imagine we have a proton with three stratons, and now I add to it energy, then this means this is three stratons plus n pairs, and now that n of course will be equal to $E/2m$. I leave out the C square. Now, however, if we have n pairs, because of the spin, there are many states possible. How many states? Well, there are three spins. You know three spins because it is ^{spin}isotopic spin and strangeness spin. So the number of states is 3^n (three to the power n), that is the number of states. So therefore the density of levels will be equal to $\rho = 3^n = 3^{E/2m}$ and that is the same as e^{KE} . So in this simple way we can understand that the creating of pairs give rise to the exponential level density. And for the mass, what is the mass of the straton? Now it is: it fits best with the experiment, that the effective mass of the straton is about $m_p/3$, because we know this gives the right value for the magnetic moment and also gives roughly

the right distance between the levels. This is of the order of a few hundred thousand volts according to this formula. So this is a reasonable mass of the straton. Now comes the point, an interesting point. If this is so, then let me again look at this here, if I deliver energy to the proton, we create pairs, that means this is different from an ordinary piece of matter. In the molecule or in the solid state if you add energy you increase the kinetic energy of the constituent. In the proton, if you add energy you create pairs, that means you do not increase the kinetic energy and so therefore the kinetic energy is always of the order of m and the kinetic energy is the same as the temperature: $E_k \sim m \sim kT$. So one can say that it is impossible to raise the temperature of a proton to higher than roughly this. Because if you put energy into it, you don't raise the temperature, you create new pairs and that can call this here the melting of the vacuum. Can you say that in Chinese? "the melting of vacuum". Because if you put energy into it you create new pairs, just like if you put heat into a solid, the solid is melting. Therefore this is the maximum temperature of the universe. Temperature can never be higher than this. Then if this is true, this may be of importance for cosmology. Now we know that this is correct, the level density formula, because we know from statistical mechanics that the level density is exponential. In this case the $kT_{\max} = \frac{1}{\lambda}$. So that is an interesting property of particle physics. But let me repeat that this is very uncertain. It follows from the St. theory but