两两对偶法

对偶意味着伴生、转化、对立和统一。

每门学问都有自己的特性，同时也有类似于其他学问的共性。类似于量子力学的互补原理和波粒二相性，相对论区别于牛顿时空观和牛顿力学的特性决定了学习者需要掌握两两对偶的4大基本分辨视角，并达到敏感程度才能登堂入室。

所谓两两对偶包括两个层次：首先是物理和数学的对偶是整个物理学的共性，第二层是相对论中物理和数学各有两条对偶性，其中也是理实交融。

定义 1.

能所对偶：区别（能）观者（一套钟尺、参考系）和所（被）观测物理量。（对比量子力学里，后者是态，前者是动力学变量。）如果观者切换了，要明确意识到这一点并能表达出变换关系式。

子类：明确钟尺网格测量图像和概念。

例：辅助钟推导引力时间膨胀中判断哪个量是固有时哪个量是坐标时、Schild论证时空弯曲之不成立因为用到3个坐标辅助钟。

子类：区分涉及1个还是2个观者、1个还是2个被观测粒子——类似量子纠缠交换和双缝实验中单光子换成纠缠光子对。例如：同时差推导中相遇和追赶vs超光速、Sagnac效应推导中、测地线偏离。

定义 2.

（四维）时空（和三维欧式空间）对偶，以及（母类）更一般化的相对论（非经典）和经典对偶。这是理论进化，可看作一种转化；有的科学哲学家称为bridge桥接原则，即过渡、对应。类似量子（非经典）力学中互补原理和对应原理、量子和经典实在性、纠缠态和分离态对偶。

例：四位移矢量、四速度、四加速度、四动量、自旋四矢量等。

例：空间平动加速=Fermi-Walker平移的陀螺仪在2维时空中转动=Thomas进动类比2维空间转动来理解、Riemann试图用（3维）空间弯曲统一Newton引力和电磁学的失败、空间平直的Robertson-Walker时空弯曲、Landau《力学》定义惯性系为均匀各向同性与宇宙学原理的区别。

子类：理解四维量，需做3+1分解；特别是空间是隶属于某个观者的，是派生概念；共动系vs一般实验室系（结合了第1对偶性中参考系切换）。

例：运动长度测量要求同时性意味着要用到一套同步化后的坐标钟、气垫导轨实验中光电计时器测量的速度在相对论中错误、时空交叉的度规系数不为0意味着空间坐标所属尺子相对基准观者运动（而不是Landau认为的基准钟走时率不同）。

例：四加速度与固有加速度、自旋四矢量。

定义 3.

体用对偶：几何量和坐标量对偶。 对于广义相对论（或更一般的度规理论）最重要的是认识到研究一个几何有无穷多坐标自由度。

子类：矢量语言和坐标分量语言。（完整地说还有直观图像语言，合起来正好是“体相用”三位一体。）

例：度规系数的对称性两种语言都可证明、局部惯性系条件、度规函数非闵氏不一定意味着几何弯曲而是坐标网格线弯曲、Killing矢量及其方程、视界的坐标奇点vs物理奇点。

子类：首先确定时空是弯曲则是度规引力问题、平直则是无引力的狭义相对论问题、分离的绝对时间和绝对空间则是牛顿力学问题；其次是选择参考系，意味着不同组的基准观者；再次是根据问题的对称性选择坐标系是直角、圆柱还是球极坐标等。

例：Einstein转盘问题是平直时空背景、Rindler坐标的推导用基矢量的变换要求前提是平直时空中矢量长度由Lorentz系钟尺测量、Thomas进动和De sitter进动及Lense-Thirring进动的区别。

定义 4.

微积（分）对偶：有限大（广域）和无穷小（局域）对偶。

例：牛顿非惯性系和局部惯性系、辅助钟推导引力时间膨胀、Killing矢量可由无穷小平移得到也可由有限平移得到。

子类：无穷小走时率分辨需要明确机制。

例：Rindler坐标的加速钟走时率vs加速钟原理。

子类：从牛顿和狭义相对论的正交惯性系(Lorentz系)时空坐标是局域当时当地记录刻度读数，进化到平直和弯曲时空中曲线加速坐标系非当时当地记录而是一组基准观者中特定一个给出时间坐标、其他空间坐标处事件的时间坐标广域地仍由特定基准观者给出，另由对称性给出空间坐标。

例：Rindler时间坐标只对中心基准加速观者有直接固有时测量意义、类似进化到对弯曲时空常常需在渐进平直时空处明确坐标量的物理意义----例：史瓦西坐标；反例：Robertson-Walker度规共动观者。（其中也是第2种对偶性，参考系概念进化为一组基准观者。例：史瓦西时空的静止观者、Kerr时空的局部非转观者、RW宇宙时空的共动观者。）

子类：标正基测量与计算。测量是局域，对应数学上是四（动量或速度）矢量投影到标正基上；实验结果两个对比是广域（常常在测量者的三维空间中是局域，结合了第2对偶性）。

例：进动（包括水星进动、De sitter进动及Lense-Thirring进动）、史瓦西几何中光线逃逸角、五大经典检验。